UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

ROGÉRIO HERLON FURTADO FREIRE

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO LIMNOLÓGICO DE
RESERVATÓRIOS DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO QUE
ABASTECEM A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA:
AÇUDES PACAJUS E GAVIÃO (CEARÁ, BRASIL).

São Carlos

2007

ROGÉRIO HERLON FURTADO FREIRE

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO LIMNOLÓGICO DE
RESERVATÓRIOS DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO QUE
ABASTECEM A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA:
AÇUDES PACAJUS E GAVIÃO (CEARÁ, BRASIL).

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP), como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Titular Maria do Carmo Calijuri

São Carlos
2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca EESC/USP

F866c Freire, Rogério Herlon Furtado
Contribuição ao conhecimento limnológico de
reservatórios do semi-árido brasileiro que abastecem a
região metropolitana de Fortaleza : açudes Pacajus e
Gavião (Ceará, Brasil) / Rogério Herlon Furtado Freire ;
orientador Maria do Carmo Calijuri. -- São Carlos, 2007.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2007.

1. Recursos hídricos. 2. Semi-árido. 3. Reservatórios.
4. Qualidade de água. 5. Variabilidade espaço-temporal.
6. Comunidade zooplanctônica. Eutrofização. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Químico **ROGÉRIO HERLON FURTADO FREIRE**

Tese defendida e julgada em 08/10/2007 perante a Comissão Julgadora:

Prof.^ª. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI (Orientadora)** Aprovado
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof.^ª/Dr.^a. **SANDRA TEDDE SANTAELLA** Aprovado
(Universidade Federal do Ceará/UFCE)

Prof. Dr. **ANDRÉ CORDEIRO ALVES DOS SANTOS** Aprovado
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar-Campus de Sorocaba)

Prof. Dr. **ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO** Aprovado
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Rio Claro)

Prof. Dr. **MARCELO LUIZ MARTINS POMPEO** Aprovado
(Instituto de Ciências Biomédicas/USP)

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

À minha família, em especial aos meus pais, João Clóvis Freire e Maria Madalena Furtado Freire (*In Memoriam*), pelo legado de honestidade e luta. Fiz dos seus os meus sonhos para retribuir toda a abnegação e esforço que me foram dedicados.

Agradecimentos

Mais do que a realização de um projeto, um sonho que começou a se delinear ainda durante a graduação, quando o amor à ciência e a admiração pelos meus mestres me fazia vislumbrar a possibilidade de dar seguimento aos meus estudos em um centro de excelência. Era um projeto contido, compartilhado com amigos de curso e família, em especial com minha mãe, entusiasta e incentivadora incondicional que, ainda em vida, pode comemorar comigo mais uma vitória. Foram quatro anos de muito aprendizado e amadurecimento. O começo foi difícil, como toda mudança, mas as dificuldades naturais de adaptação foram amenizadas por novas conquistas. Ao final, com a sensação de dever cumprido, gostaria de compartilhar minha alegria com todos aqueles que participaram e contribuíram, de alguma forma, para o resultado final do trabalho, e, com justiça, agradecer...

À Deus, pela oportunidade de recomeçar a cada dia...Por me fazer compreender que as dificuldades só existem porque as vitórias precisam ser construídas.

À Professora Dr^a. Maria do Carmo Calijuri, pela orientação, confiança e ajuda em todas as fases deste trabalho. Pelo exemplo de competência, dedicação e coragem. Minha admiração e respeito. Obrigado.

À Professora Dr^a. Sandra Tédde Santaella, coordenadora do LABOSAN (Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará – UFC), por viabilizar a realização das determinações analíticas durante o período de estudo.

Ao amigo Walt Disney Paulino, por contribuir efetivamente com este trabalho através da disponibilização de dados, além da intervenção junto à COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará) para a realização de um estágio profissional durante o doutorado. Meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos e funcionários da COGERH, Flávio Ferreira, Ticiane Theófilo, Leila Leão e Ronaldo Rosendo pela pronta disponibilidade em ajudar-me na aquisição de dados junto à Companhia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo (Processo n^o. 141885/2202-5), sem a qual a realização desta pesquisa não teria sido possível.

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, pela disponibilização de dados e informações essenciais para o andamento trabalho, da sua concepção ao seu fechamento.

À Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME, pela disponibilização da série climática histórica, a qual serviu não somente para caracterizar a área de estudo, mas também para a determinação da periodicidade e escolha dos meses de amostragem.

Aos Professores Antônio Carlos Simões Pião, Fazal Hussain Chaudhry, Luiz Antônio Daniel, Marcelo Zaiat, Maria Bernadete A. Varesche Silva, Raoul Henry e Ruth de Gouvea Duarte pelos ensinamentos transmitidos durante o ciclo de disciplinas.

Aos Professores Fazal Hussain Chaudhry e Maria Bernadete A. Varesche Silva, pelas contribuições quando da defesa do primeiro exame de qualificação.

Aos Pesquisadores André Cordeiro dos Santos e Ângelo Saggio, pelas significativas contribuições durante o segundo exame de qualificação.

Aos Professores André Cordeiro dos Santos (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar-Campus Sorocaba), Antônio Fernando Monteiro Camargo (Universidade Estadual Paulista/UNESP-Campus Rio Claro), Marcelo Luiz Martins Pompeo (Instituto de Ciências Biomédicas-Universidade de São Paulo/ICB-USP) e Sandra Tédde Santaella (Universidade Federal do Ceará/UFC), pelas valiosas contribuições e pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

À minha família, por mostrar-me que as limitações necessitam ser compreendidas e as diferenças respeitadas.

Aos meus irmãos Ricardo, Sheila, Roberto e Renato, pela presença constante e apoio incondicional durante os meus estudos.

Aos meus mestres da graduação e do mestrado, aos quais devo parte dos conhecimentos adquiridos e aplicados durante a minha vida acadêmica e profissional.

Aos valiosos e generosos amigos que conquistei ao longo da vida. O significado da palavra amizade torna-se pleno na presença de vocês.

Ao amigo Rivaldo Varandas, pelo apoio, incentivo e ajuda abnegada durante todos esses anos.

Ao amigo José Ricardo Rosolen, pela valiosa amizade e ajuda desprendida durante a impressão dos volumes finais da tese.

Aos companheiros de doutorado, pelas experiências de vida e conhecimento compartilhados. Que a vida nos brinde com muito sucesso!

À cidade de São Carlos, terra hospitaleira e apaixonante, que me recebeu de forma acolhedora, amenizando a saudade da família e dos amigos. Foi um tempo muito feliz.

SUMÁRIO

Resumo.....	ix
Abstract.....	x
1. Introdução e Justificativa.....	11
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. Revisão Bibliográfica	15
4. Área de Estudo	21
4.1. Localização e Aspectos Gerais.....	21
i) O Estado do Ceará	21
4.2. Caracterização Física do Território das Bacias Metropolitanas	22
4.2.1. Clima	23
4.2.3. Geomorfologia	27
4.2.4. Geologia	28
4.2.5. Solos	28
4.2.6. Cobertura Vegetal	28
4.2.7. Atividades Econômicas	29
4.2.8. Condições de Saneamento.....	29
4.2.9. Atividades Antrópicas Impactantes.....	29
5. O Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza - SAABRMF.....	30
5.1. Descrição.....	30
5.2. Planejamento de Operação do SAABRMF	31
6. Materiais e Métodos	34
6.1. Definição da Periodicidade e Número de Pontos de Amostragem	34
6.2. Perfis de Variáveis Físicas e Químicas	37
i) Medidas em Campo	37
ii) Coleta de Água em Profundidade	38
6.3. Composição Iônica Principal	38
6.4. Controle de Qualidade dos Dados	41
6.5. Construção dos Gráficos de Isolinhas	42
6.6. Análise da Heterogeneidade Espacial	45
6.6.1. Análise de Agrupamento do tipo Cluster (Método UPGMA).....	45
6.6.2. Análise Discriminante Múltipla (ADM)	45
6.7. Interpretação de Processos	48
6.8. Comunidade Zooplanctônica.....	50
6.9. Estimativa das Variáveis Morfométricas	52
i) Profundidade Média (zméd)	52
ii) Profundidade Máxima (zmáx)	52
6.10. Tempo de Residência (TR).....	52
6.11. Análise Climática	52
6.12. Análise de Sazonalidade.....	53
7. Resultados	55
7.1. Análise dos Padrões Climáticos Regionais	55
7.1.1. Perspectiva Histórica (1961-1990).....	55
7.1.2. Período de Estudo (1998-1999).....	57
7.1.3. Análise de Sazonalidade.....	59
7.2. Comportamento Hidrológico e Hidráulico dos Açudes Pacajus e Gavião.....	65

7.2.1. Variação dos Estoques Armazenados	65
7.2.2. Variação Temporal do Tempo de Residência Teórico (1998-1999)	67
7.3. Estrutura Térmica da Coluna D'água	71
7.4. Condutividade Elétrica (C.E.).....	82
7.5. Composição Iônica Principal	88
7.6. pH e Oxigênio Dissolvido (OD)	99
7.7. Nutrientes	108
7.7.1. Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID) e Fósforo Total (PT)	108
7.7.2. Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) – Nitrogênio Amoniacal, Nitrato e Nitrito	114
7.8. Clorofila a e Transparência Secchi (zDS).....	119
7.9. Heterogeneidade Espacial.....	126
7.10. Comunidade Zooplancônica	138
8. Discussão	151
8.1. Análise Estatística da série climática histórica (1961-1990) e do biênio 1998-1999 ..	151
8.2. Condições de Mistura da Coluna d'água	153
i) Estrutura Térmica	153
ii) Distribuição vertical e longitudinal de sais dissolvidos	164
8.3. Composição Iônica Principal	167
8.4. Variação Espaço-temporal do pH e Condições de Oxigenação da Coluna d'água	172
8.5. Biomassa Algal e Grau de enriquecimento dos reservatórios	180
i) Nutrientes	180
ii) Biomassa algal.....	187
8.6. Heterogeneidade Espacial.....	193
8.7. Comunidade Zooplancônica	200
9. Conclusões	213
10. Recomendações	217
10. Referências Bibliográficas	219

RESUMO - FREIRE, R. H. F. **Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semi-árido brasileiro que abastecem a Região Metropolitana de Fortaleza: Açudes Pacajus e Gavião (Ceará, Brasil).** São Carlos. 2007. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O principal objetivo deste estudo foi investigar a influência das alterações nas condições climáticas e hidrodinâmicas sobre a estabilidade física, a disponibilidade de recursos, a estrutura da comunidade zooplancônica e os padrões de heterogeneidade espacial dos açudes Pacajus e Gavião, amostrados bimestralmente entre nov.1988 e dez./1998. Nos dois reservatórios os pontos foram distribuídos ao longo dos respectivos eixos longitudinais principais, sendo 06 no açude Pacajus e 05 no Gavião. As medidas de temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram realizadas em intervalos regulares da coluna d'água com o uso de sonda multiparamétrica (HORIBA U-10). Amostras para determinação de alcalinidade total, nutrientes inorgânicos dissolvidos e fósforo total foram coletadas em profundidades correspondentes à superfície, meio e fundo da coluna d'água. A determinação de clorofila *a* foi realizada em amostras de superfície. A estrutura vertical da coluna d'água dos reservatórios foi caracterizada por pequenos gradientes térmicos e salinos, especialmente durante o segundo semestre, quando o vento atuou como principal forçante indutora de mistura turbulenta. Nessa época do ano as concentrações de OD foram típicas de supersaturação nos dois reservatórios. A dinâmica de nutrientes nos açudes Pacajus e Gavião dependeu das contribuições alóctones durante o período chuvoso e dos processos de regeneração e carga interna durante o período de estiagem. O maior grau de enriquecimento e biomassa algal observados no açude Pacajus classificou-o como eutrófico-hipereutrófico, enquanto que o açude Gavião foi classificado como meso-eutrófico. A heterogeneidade espacial dos reservatórios foi condicionada pelo regime hidrológico do rio barrado, no caso do açude Pacajus, pelos gradientes hidráulicos ao longo do eixo longitudinal, pela influência dos procedimentos de transferências hídricas internas, especialmente no açude Gavião, e pela irregularidade na distribuição espacial do fitoplâncton, acompanhando gradientes tróficos. De modo geral, pode-se afirmar que as espécies do zooplâncton identificadas nos açudes Pacajus e Gavião são bem representativas da fauna de microinvertebrados planctônicos Neotropical, com amplo espectro de distribuição geográfica no Brasil. A dominância dos Rotifera no açude Pacajus em dez./1998 foi indicativo das condições hipereutróficas da maioria dos pontos amostrados. Espacialmente, os organismos desse grupo, representados principalmente por espécies dos gêneros *Brachionus* e *Keratella*, indicadores de ambientes nutriente-enriquecidos, foram mais abundantes nos compartimentos com estado trófico superior. Comportamento similar foi observado para o Copepoda Cyclopoida *Thermocyclops decipiens*, espécie indicadora de condições eutróficas, a qual colonizou, preferencialmente, regiões com maior concentração de nutrientes. Ao contrário, organismos dos grupos Copepoda e Cladocera foram mais abundantes nas regiões menos enriquecidas dos reservatórios, apresentando gradientes longitudinais inversos em relação àqueles dos Rotifera e Cyclopoida. Portanto, a distribuição e os padrões de dominância do zooplâncton nos açudes Pacajus e Gavião foram condicionadas, principalmente, pela variabilidade espaço-temporal dos gradientes tróficos.

Palavras-chaves: semi-árido, recursos hídricos, reservatórios, qualidade de água, variabilidade espaço-temporal, comunidade zooplancônica, eutrofização.

ABSTRACT - FREIRE, R. H. F. **Contribution to limnological knowledge of brazilian semi-arid reservoir that supply Fortaleza's metropolitan region: Pacajus and Gavião dams (Ceará, Brazil).** São Carlos. 2007. Ph. D. Thesis. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The main aim of this research was to investigate the influence of climatic and hydrodynamics' alterations about physical stability, resources availability, zooplankton community structure and spatial heterogeneity standard of Pacajus and Gavião dams, collected at two-month period between Nov. 1988 and Dec.1998. In the reservoirs, the sample stations were distributed along the main longitudinal axis, being six on Pacajus dam and five on Gavião dam. Water temperature, electric conductivity, turbidity, pH and dissolved oxygen were measured in regular intervals in water column using a multiparametric probe (HORIBA U-10). Sample for total alkalinity, inorganic dissolved nutrients and total phosphorous determination were collected in the corresponding depth in water column (surface, middle and deep). Chlorophyll *a* determination was measured in surface samples. Vertical structure of water column in reservoirs was characterized by little thermal and saline gradients, especially during second semester, when wind was the main induced force of turbulent mixture. At this same period dissolved oxygen concentrations were typical supersaturated on both reservoirs. Nutrients dynamic on both dams were dependent on allocthonous contributions during rainy season and on regeneration processes and internal load during dry season. The greatest rank of enrichment and algal biomass measured in Pacajus' dam classified it as eutrophic or hipereutrophic while Gavião's dam was mesotrophic or eutrophic. Spatial heterogeneity of reservoirs was controlled by hydrological regime of the dammed river in case of Pacajus' dam, by hydraulic gradients along main axis and the influence of internal hydraulic transferences proceedings in the case of Gavião's dam and by irregularity on phytoplankton spatial distribution according to trophic gradients. In general, it can be said that zooplankton species identified on both dams are representative of Neotropical plankton micro invertebrate fauna, with large geographic distribution in Brazil. The dominance of rotifers in Pacajus' dam on Dec. 1998 was favored by hipereutrophic conditions in most of sample stations. Especially, this group of organisms, represented mainly by *Brachionus* and *Keratella*, indicators of nutrient enriched environments, were abundant in segments with higher trophic state. Similar behavior was observed to the copepod *Thermocyclops decipiens*, an indicator of eutrophic conditions, which has colonized regions with higher nutrient concentrations. On the other hand, Copepoda and Cladocera were more abundant on poorer nutrient compartments of reservoirs, presenting inverse longitudinal gradients in relation with those of Rotifera and Cyclopoida. Therefore, distribution and patterns of zooplankton dominance in Pacajus and Gavião dams were conditioned mainly by spatial-temporal variability of trophic gradients.

Keywords: semi-arid region, water resources, reservoirs, water quality, space-temporal heterogeneity, zooplanktonic community, eutrophication.

1. Introdução e Justificativa

Os açudes constituem-se em equipamentos de transformação e de adaptação das potencialidades naturais às demandas regionais. Portanto, o número de reservatórios de uma região dependerá da disponibilidade espaço-temporal dos seus recursos hídricos. Daí, o semi-árido nordestino constituir-se na região com maior densidade de reservatórios do país (MENESCAL *et al.*, 2004).

Somente no Estado do Ceará, o número estimado de açudes de todos os tamanhos e tipos é de aproximadamente 30.000. Entretanto, apenas a construção de açudes não resolve o problema de escassez de água nessa região, fazendo-se necessário implementar uma série de ações de gestão dos recursos hídricos que vão desde o planejamento e instrumentalização legal até a operação, a segurança e o monitoramento dos mesmos (MENESCAL *et al.*, 2004).

Os grandes açudes de regularização do semi-árido, projetados para enfrentar vários anos consecutivos de seca, garantem, na maioria das vezes, proteção contra períodos secos excepcionais. Destinados a usos múltiplos, esses açudes estão normalmente associados ao desenvolvimento da bacia onde estão inseridos, exercendo, assim, papel preponderante no balanço oferta x demanda dos recursos hídricos (MENESCAL *et al.*, 2004).

De acordo com MARGALEF (1993) e TUNDISI (1993), reservatórios podem atuar como sistemas de informação das respectivas bacias de drenagem, já que seus aspectos qüali-qüantitativos estão estreitamente associados às demandas regionais e aos usos e ocupação do solo, reforçando, assim, sua importância como agente catalisador de ações de gerenciamento da água armazenada.

No entanto, o gerenciamento da qualidade da água nestes ecossistemas artificiais torna-se altamente complexo devido à sua dinâmica natural, à influência dos procedimentos de operação sobre a variabilidade dos processos físicos, químicos e biológicos e aos impactos resultantes das atividades humanas desenvolvidas ao longo de suas áreas de domínio (STRASKRABA *et al.* 1993).

Segundo JÖRGENSEN (1990), perturbações naturais ou antrópicas a um ecossistema aquático resultam em um novo estado de equilíbrio, com implicações nas relações ecológicas e alterações na estrutura das comunidades. Além disso, eventos sazonais podem induzir a uma maior complexidade vertical e horizontal do sistema (NOGUEIRA *et al.*, 1999), particularmente em latitudes tropicais e subtropicais, onde as variações temporais estão

comumente associadas à sazonalidade dos regimes de chuva e vento (TALLING & LEMOALLE, 1998).

Extinção de espécies e ecossistemas, depreciação da qualidade da água, aumento na frequência de ocorrência de florações de cianobactérias e doenças de veiculação hídrica, retenção e acúmulo de nutrientes, além da contaminação por substâncias químicas refratárias são alguns dos aspectos relacionados à poluição de reservatórios (MULI, 1996; JIN & HU, 2003; KRYLOVA *et al.*, 2003; MAGADZA, 2003).

Outro aspecto relevante, particularmente comum em reservatórios de regiões áridas e semi-áridas, é a salinização - processo geralmente associado ao balanço hídrico negativo, mas que também pode estar associado a fatores como superdimensionamento, regime de operação e carga de sais provenientes de fontes de poluição pontuais e difusas. O incremento na concentração de sais dissolvidos, além de inviabilizar o uso da água armazenada para fins industriais e de irrigação, pode causar objeção ao consumo humano e animal. Há de se considerar ainda a influência da salinidade sobre a estrutura das comunidades aquáticas através da seleção de espécies mais adaptadas a condições hipertônicas por meio de ajustes fisiológicos.

No Estado do Ceará, a baixa cobertura dos serviços de coleta, tratamento e disposição de efluentes domésticos resulta no lançamento de grande carga poluidora aos ecossistemas aquáticos estaduais, especialmente aos rios, caracterizados pelo regime de fluxo intermitente e limitada capacidade de auto-depuração. O cenário de degradação ambiental dos recursos hídricos estaduais reflete-se na crescente eutrofização dos reservatórios, quadro representado principalmente pelo aumento na frequência de ocorrência de florações de cianobactérias; pelo adensamento dos bancos de macrófitas aquáticas; pela ocorrência de eventos de anoxia, com mudanças na composição química da coluna d'água, particularmente representadas pelo aparecimento de espécies iônicas e gasosas em estado de oxidação inferior; e pelas perdas das qualidades cênicas e organolépticas, aspectos prontamente associados à depreciação da qualidade da água, causando objeção à recreação de contato primário e consumo humano.

Apesar da importância estratégica dos recursos hídricos para o desenvolvimento sócio-econômico regional, o Estado do Ceará ainda carece de conhecimento limnológico acerca de seus reservatórios como importante ferramenta de gerenciamento da qualidade da água armazenada. No entanto, há que se destacar a concepção e execução de programas estaduais de monitoramento dos recursos hídricos, os quais têm gerado grande volume de dados, disponíveis para tratamento, interpretação e geração de informações.

Neste cenário, destaca-se a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, órgão responsável pela execução da Política Estadual de Recursos Hídricos e, conseqüentemente, pela implantação de metodologia sistemática de monitoramento qüali-qüantitativo de reservatórios e trechos de rios perenizáveis.

Diante do exposto e considerando o crescente esforço do Estado do Ceará em aprimorar seu sistema de gerenciamento de recursos hídricos a partir de informações advindas de seus programas de monitoramento, o presente trabalho de pesquisa foi pensado e concebido com o escopo principal de gerar conhecimento limnológico sobre dois dos principais reservatórios componentes do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza (SAABRMF), os açudes Pacajus e Gavião. A escolha destes reservatórios baseou-se, além do critério de importância sócio-econômica, na crescente pressão da malha urbana sobre suas bacias hidrográficas, o que tem gerado reflexões acerca das conseqüências ambientais e suas implicações sobre a disponibilidade da água armazenada frente às demandas locais. Especificamente, o foco do trabalho voltou-se para a qualidade da água dos reservatórios e sua variação espaço-temporal em resposta à influência de fatores endógenos e exógenos.

O trabalho de pesquisa aqui apresentado pretende, além de cumprir com os objetivos propostos, contribuir com o direcionamento das investigações subseqüentes para aspectos relevantes da limnologia de reservatórios do semi-árido, além de chamar a atenção para o desenvolvimento de metodologias de monitoramento adaptadas à realidade regional e em consonância com a política estadual dos recursos hídricos, para que as informações geradas possam ser utilizadas efetivamente para fins de gerenciamento.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Investigar a influência das alterações nas condições climáticas e hidrodinâmicas sobre a estabilidade física, a disponibilidade de recursos, a estrutura da comunidade zooplancônica e os padrões de heterogeneidade espacial de dois reservatórios do trópico semi-árido brasileiro durante os períodos seco e chuvoso.

2.2. Objetivos específicos

- i. Estabelecer metodologia para delimitação de períodos de amostragem representativos através da aplicação de técnicas de Estatística Multivariada a dados climáticos históricos, substituindo critérios intuitivos e aleatórios;
- ii. Investigar a sazonalidade local através da aplicação de técnicas de Estatística Circular a dados climáticos históricos;
- iii. Investigar as alterações na estrutura vertical da coluna d'água e a influência dos regimes hidrológicos e de operação, além das mudanças climáticas sobre a estabilidade física dos sistemas;
- iv. Avaliar a influência das alterações na estrutura física da coluna d'água sobre a distribuição e disponibilização espaço-temporal de recursos nos açudes;
- v. Investigar as mudanças espaço-temporais na estrutura das comunidades zooplancônicas dos açudes Pacajus e Gavião e sua associação com as alterações nos gradientes tróficos;
- vi. Investigar as mudanças nas configurações espaciais dos reservatórios em resposta a fatores climáticos e hidráulicos e sua relação com a heterogeneidade na distribuição de recursos em períodos hidro-climáticos distintos.

3. Revisão Bibliográfica

O advento da Limnologia no Brasil deu-se a partir da primeira metade do século XX, mais especificamente nos primeiros anos da década de trinta, quando da fundação da Comissão Técnica de Piscicultura do Nordeste (CTPN) pelo pesquisador Rodolpho von Ihering. A CTPN, sediada na cidade de Campina Grande (Paraíba), era subordinada administrativamente à Inspetoria de Obras Contra as Secas, atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, maior fomentador de pesquisas em Limnologia no país até meados de 1940. Neste contexto, merece destaque a figura de Rodolpho von Ihering (diretor da CTPN até 1937), principal articulador da formação de um grupo de pesquisa interdisciplinar, possibilitando a realização dos primeiros estudos sobre a ecologia dos açudes do semi-árido brasileiro e acerca da viabilidade da introdução e manejo de espécies nativas nestes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

Dentre os pesquisadores estrangeiros que integraram a equipe da CTPN a convite de von Ihering, destaque para o americano Stillman Wright, primeiro limnólogo a atuar no país e idealizador de estudos com qualidade comparável àquelas realizados na Europa e América do Norte à época. Este pesquisador dedicou-se intensamente aos estudos limnológicos dos açudes nordestinos, particularmente nos Estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande Norte, sendo os açudes Bodocongó, Puxinamã, Velho e Simão, todos localizados nas proximidades da cidade de Campina Grande (Paraíba), os primeiros a serem investigados por Wright (ESTEVES, 1998). No entanto, pela proximidade em relação à sede da CTPN (aproximadamente 6 km), o açude Bodocongó foi o mais extensivamente estudado, sendo considerado o primeiro ecossistema aquático continental brasileiro a ser submetido a pesquisas limnológicas sistemáticas (ESTEVES, 1998).

Os primeiros estudos conduzidos por Stillman Wright voltaram-se principalmente para a caracterização física e química de açudes, rios, riachos e poços artesianos, com destaque para aqueles sobre os padrões de mistura da coluna d'água em açudes, relatando a ocorrência de um ciclo diário de estratificação-desestratificação nos açudes investigados (ESTEVES, 1988).

Dentre as contribuições de Wright, destacam-se também os estudos sobre ecologia e sistemática do zooplâncton, além daqueles sobre a produtividade primária dos açudes, a partir dos quais o pesquisador classificou-os como eutróficos. Wright chamou a atenção ainda para peculiaridades na composição química dos mesmos, ressaltando sua elevada força iônica, especialmente durante a estiagem (ESTEVES, 1988).

Após a transferência da CTPN para Fortaleza (Ceará), em 1935, von Ihering, além das pesquisas sobre a ecologia dos açudes, deu continuidade aos estudos sobre a técnica de hipofização de peixes, posteriormente usada com sucesso no Brasil e em outros países (ESTEVES, 1998). No Ceará, os açudes Cedro, Choró e General Sampaio foram objeto de intensas investigações limnológicas pela equipe interdisciplinar coordenada pelo pesquisador (ESTEVES, 1998).

Seguindo o ciclo de contribuições de Stillman Wright, o pesquisador alemão Friederich Lenz, discípulo de Thienemann - limnólogo já renomado na época -, chega ao Brasil a convite de von Ihering. Lenz foi designado especialmente para o estudo da fauna aquática dos açudes nordestinos, realizando importantes trabalhos sobre a fauna bentônica, particularmente sobre quironomídeos, nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba. (ESTEVES, 1998).

ESTEVES (1988) e BARBOSA (2002) destacaram a iniciativa arrojada e pioneira da equipe coordenada por von Ihering, a qual permitiu não somente o início dos estudos limnológicos no Brasil, mas o intercâmbio entre técnicos brasileiros e estrangeiros, viabilizando a formação de pessoal especializado e a continuidade das pesquisas no país.

Ainda na primeira metade do século XX, foram realizadas importantes pesquisas sobre sistemática de peixes, com destaque para os estudos pioneiros de IHERING & AZEVEDO (1934), AZEVEDO (1938), AZEVEDO & VIEIRA (1938). Particularmente durante as décadas de trinta e quarenta, a intensa participação de ictiologistas determinou o foco dos estudos limnológicos realizadas nos açudes do Nordeste (ESTEVES, 1988).

Neste período, bem como nas décadas de 50 e 60, as pesquisas foram voltadas, na sua maioria, para estudos sobre a fauna aquática, particularmente zooplâncton, macroinvertebrados bentônicos, anfíbios, além da ictiofauna, já contemplada.

Segundo BARBOSA (2002), nas décadas de 50 e 60, dando continuidade aos levantamentos e estudos sobre sistemática de espécies realizados na década anterior, foram empreendidas importantes pesquisas sobre moluscos, com destaque para aquelas sobre estratégias de sobrevivência e dessecação do habitat de gastrópodes, viabilizando estudos posteriores sobre espécies hospedeiras da esquistossomose, doença que configurou um quadro preocupante no Nordeste à época. Também neste período, foram realizados estudos relevantes acerca dos recursos pesqueiros, cultivo e peixamento em açudes, em continuidade aos estudos anteriores sobre sistemática, biologia e etologia de peixes.

Nas décadas de 70 e 80, paralelamente aos levantamentos e estudos sobre a biologia e etologia de peixes, desenvolveram-se pesquisas com enfoque tecnológico destinadas ao

aproveitamento dos recursos pesqueiros da região (BARBOSA, 2002). Na mesma época, estudos sobre fitoplâncton foram retomados, em adição aos escassos e pioneiros realizados na década de 40 (DROUET *et al.*, 1938). No entanto, cabe ressaltar que a maioria deles se restringiu a corpos d'água localizados na faixa litorânea, com foco principal no inventário de espécies. Neste cenário, merecem destaque os trabalhos realizados nos Estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte, os quais abordaram, além de aspectos taxonômicos, a relação entre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e o estado trófico dos ambientes. Há de se ressaltar ainda o importante trabalho realizado por BARBIERI *et al.* (1989) em lagos do Maranhão, onde a composição e a produtividade primária do fitoplâncton foram relacionadas a fatores ecológicos. CHELLAPA (1982, 1986, 1988 e 1989) empreendeu importantes estudos em açudes do Rio Grande do Norte, com ênfase nos aspectos quali-quantitativos e processos das comunidades fitoplanctônica e de algas perifíticas.

Dentre as pesquisas aplicadas desenvolvidas durante a década de 80, destacam-se aquelas sobre a avaliação do potencial dos açudes do Nordeste para uso na irrigação (MOLLE, 1985; MOLLE *et al.*, 1985 e 1988; MOLLE & CADIER, 1986 e 1987), estudos sobre os processos de evaporação, evapotranspiração e infiltração (MOLLE, 1989a, 1989b); aplicação de modelos de previsão de salinização e qualidade de água de açudes (LARAQUE, 1989a, 1989b); estudos sobre dimensionamento de pequenos açudes no semi-árido nordestino e alterações no regime hidrológico de rios barrados para formação de represas de diversos tamanhos (CADIER, 1994; CADIER *et al.*, 1987 e 1989).

A década de 90 foi marcada pela realização de estudos sobre as características biológicas e sanitárias de açudes do semi-árido paraibano, com destaque para aqueles empreendidos por CEBALLOS *et al.* (1990, 1991a, 1991b, 1995) e KÖNIG *et al.* (1990). Seguindo este enfoque, CEBALLOS (1995) desenvolveu um importante trabalho de tipificação de ecossistemas aquáticos do semi-árido paraibano com base em indicadores microbiológicos. Paralelamente aos estudos com enfoque predominantemente sanitário, desenvolvem-se trabalhos sobre o nível de eutrofização (CEBALLOS *et al.*, 1998), o comportamento hidroquímico e as características morfológicas dos açudes paraibanos (LARAQUE, 1991; MOLLE, 1991, 1992, 1994; MOLLE & CARDIER, 1992).

Segundo BARBOSA (2002), os estudos sobre o fitoplâncton tiveram continuidade durante a década de 1990, sendo correlacionados, agora, com a ecologia dos ambientes e com abordagem voltada para a região semi-árida. O autor destaca os trabalhos desenvolvidos por CHELLAPA (1991a, 1991b) CHELLAPA *et al.* (1996) e CEBALLOS (1995).

BARBOSA (2002) destacou ainda que os projetos de caráter multidisciplinar e interinstitucional levados a cabo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRP) e pela Universidade Federal da Paraíba (UFB) viabilizaram a continuidade e o desenvolvimento de novas linhas de pesquisa durante a década de 90. Neste contexto, destaca-se o “Projeto Açudes”, parceria da UFRP com o Institut de Recherche pour Développement, como parte de um convênio com o CNPq, o qual teve como principal objetivo a valorização dos recursos aquáticos dos açudes do semi-árido pernambucano.

No Estado do Ceará, durante o mesmo período, destacam-se os estudos realizados nos açudes das Bacias Metropolitanas, especialmente naqueles que compõem o Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza - SAABRMF (açudes Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião), e nos açudes Pereira de Miranda, General Sampaio, Caxitoré e Frios, localizados na Bacia do Rio Curu.

Com base numa série de dados obtidos entre 1981 e 1984 nos açudes Pereira de Miranda, Caxitoré e Paraipaba (Ceará), DATSENKO & LEITÃO (1994) observaram elevada correlação entre as variáveis condutividade elétrica (medida em campo), sólidos totais dissolvidos (STD) e íons Na^+ e Cl^- , concluindo que medidas daquela variável física poderiam servir de base para estimativas de concentrações de espécies químicas de natureza conservativa, como as citadas.

LEITÃO *et al.* (1995) apresentaram os resultados relativos às medidas de temperatura da água e condutividade elétrica ao longo dos eixos longitudinais principais dos reservatórios do SAABRMF e de alguns reservatórios da Bacia do Rio Curu (Pereira de Miranda, General Sampaio, Caxitoré e Frios). Os resultados mostraram que, apesar da inexistência de termoclinas na maioria dos pontos amostrados, foram observados gradientes térmicos significativos nos açudes Orós ($1,2^\circ\text{C.m}^{-1}$), Pacajus ($1,2^\circ\text{C.m}^{-1}$) e Pacoti ($1,0^\circ\text{C.m}^{-1}$). No entanto, as termoclinas sub-superficiais observadas foram caracterizadas como instáveis, sujeitas a erosão pela ação de movimentos convectivos e de mistura turbulenta induzida pelo vento. Os pesquisadores concluíram ainda que, apesar da significativa diferença de força iônica entre os reservatórios estudados, não foram registradas grandes amplitudes de variação dentro de um mesmo açude, a não ser nas regiões sob influência direta dos respectivos rios barrados.

LEITÃO *et al.* (1995) observaram forte influência da intensidade dos ventos e da morfometria sobre a distribuição vertical e espacial do oxigênio dissolvido em açudes do SAABRMF e da Bacia do Rio Curu. Os pesquisadores relataram a ocorrência de zonas anóxicas nos açudes Orós, Pacoti, Riachão e Gavião entre janeiro e março de 1995. Uma

situação peculiar foi observada na região intermediária do açude Pacajus - não desmatada durante a fase de construção do reservatório - quando as concentrações de oxigênio dissolvido foram típicas de anoxia, inclusive nas camadas superficiais da coluna d'água.

AMORIM & D'ASSUMPÇÃO (1996), em única coleta nictemeral no açude Mundaú (Ceará) durante o período de estiagem, detectaram a presença de uma termoclina bem definida entre 8,0 e 11,0 m nas imediações da barragem do reservatório, a qual condicionou a distribuição do oxigênio dissolvido ao longo do perfil vertical. Os autores observaram forte odor de ácido sulfídrico quando da abertura da válvula dispersora de fundo do reservatório junto à barragem, atribuindo a sua evolução a processos de estabilização da matéria orgânica acumulada no hipolímnio. O caráter redutor das águas hipolimnéticas do reservatório foi confirmado pelos valores negativos de potencial redox (Eh), os quais atingiram seu máximo abaixo do limite inferior da termoclina.

OLIVEIRA *et al.* (1996) concluíram que a maior fonte de sais ao reservatório Pereira de Miranda (Bacia do Rio Curu) no período de 1982 a 1984 foi a deposição seca de aerossóis marinhos durante o período de estiagem. Em outro estágio, os sais depositados sobre o solo da bacia foram lavados e transportados para o interior do reservatório, contribuindo para a salinização do açude. Os autores estimaram uma carga anual de íons Cl^- ao reservatório de 2.978 e 3.729 toneladas, referentes à contribuição direta (deposição sobre o espelho d'água) e à lavagem dos sais precipitados e acumulados no solo da bacia de drenagem, respectivamente.

AMORIM & D'ASSUMPÇÃO (1997), num estudo de avaliação da qualidade da água armazenada nos açudes Pacajus, Ererê, Pacoti, Riachão e Gavião durante o período chuvoso, observaram tendência à isoterminia e pequenos gradientes químicos ao longo da coluna d'água dos reservatórios, fato atribuído à ação conjunta do vento, correntes de convecção internas e da precipitação direta. O estudo foi complementado pela coleta de dados hidrométricos, climáticos, pedológicos, populacionais e atividades econômicas desenvolvidas ao longo das respectivas bacias de drenagem.

Num estudo desenvolvido em reservatórios do Estado do Ceará, DATSENKO (1999) afirmou que a qualidade da água armazenada foi fortemente condicionada por processos naturais e antrópicos ao longo das respectivas bacias hidrográficas, pelo regime hidrológico e características morfométricas dos reservatórios.

Analisando as comunidades zooplancônicas de corpos d'água envolvidos na transposição das águas do Rio São Francisco, CRISPIM & WATANABE (2000) encontraram grande diferença entre os pontos amostrados em termos de densidade, número de espécies presentes e índice de diversidade (H'). Os pesquisadores classificaram o Rio dos Porcos e Rio

Salgado (Ceará) como bastante eutrofizados, não recomendando a comunicação das águas desses ambientes com as do Rio Jaguaribe (Ceará), Açude Orós (Ceará) e Rio Piancó (Paraíba). Pelo mesmo motivo, CRISPIM & WATANABE (2000) não recomendaram a utilização dos reservatórios Poço da Cruz e Itaparica (Pernambuco) como canais de ligação entre o Rio São Francisco e o Açude de Boqueirão (Paraíba).

FREIRE (2000), além de caracterizar o período chuvoso como de fertilização das águas dos açudes Pacajus, Pacoti e Gavião, observou maior estabilidade da coluna d'água em relação ao período seco, quando os gradientes térmicos, salinos e de oxigênio dissolvido foram mais suaves nas dimensões vertical e longitudinal.

FREIRE *et al.* (2004) observaram configurações espaciais distintas ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus entre os períodos seco e chuvoso, atribuindo a expansão da região fluvial do reservatório durante o período de aporte ao menor tempo de residência da água e aos pulsos de sais dissolvidos, nutrientes e material em suspensão. Os pesquisadores afirmaram que os padrões de zonação longitudinal condicionaram a distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica ao longo do eixo Rio Choró-barragem.

CALIJURI *et al.* (2004) atribuíram à turbidez de natureza inorgânica o papel de principal agente físico controlador do crescimento do fitoplâncton no açude Acarape do Meio (Ceará), reservatório receptor de grande carga de sedimento durante o período de aporte proveniente da erosão das encostas, onde são comuns atividades como queimadas e destocas. A lenta sedimentação do material em suspensão após o período de chuvas provocou o aumento da extensão da z_{eu} e, conseqüentemente, um incremento na biomassa fitoplanctônica durante o segundo semestre do ano.

LEITÃO *et al.* (2004) observaram dominância de espécies zooplanctônicas indicadores de condições eutróficas nos açudes Pacajus, Pacoti e Gavião, com destaque para os Rotífera *Keratella tropica* e *Brachionus calyciflorus*, o Copepoda Cyclopoida *Thermocyclops decipiens* e os Cladocera *Ceriodaphnia cornuta* e *Diaphanosoma spinulosum*.

LEITÃO *et al.* (2007), num estudo sobre a estrutura das comunidades zooplanctônicas dos açudes Pacajus e Gavião em períodos hidrológicos distintos, observaram que a diversidade de espécies foi menor durante o período seco; resultado associado ao maior grau de trofia apresentado por esses ambientes nessa época do ano. Os pesquisadores observaram dominância dos Copepoda Cyclopoida sobre os Copepoda Calanoida, especialmente devido às altas densidades de *Thermocyclops decipiens*, condição particularmente ressaltada no período de estiagem. *Diaphanosoma spinulosum* e *Ceriodaphnia cornuta* tiveram destaque dentre os cladóceros, enquanto *Keratella* e *Brachionus* foram os gêneros mais conspícuos no

grupo Rotifera. Os rotíferos mais abundantes foram *Keratella tropica*, *K. americana*, *Brachionus calyciflorus*, *B. havanaensis* e *Polyarthra vulgaris*. Espécies oportunistas tais como *T. decipiens*, *D. spinulosum*, *C. cornuta*, *B. calyciflorus* e *K. tropica* foram consideradas bioindicadoras das condições de hipereutrofia dos reservatórios.

A análise da comunidade zooplancônica do açude Araras (Ceará) evidenciou uma microfauna representada por espécies cosmopolitas em alta densidade e riqueza, especialmente aquelas bioindicadoras de eutrofização, com destaque para o Copepoda Cyclopoida *Thermocyclops decipiens*, os Cladocera *Ceriodaphnia cornuta* e *Diaphanosoma spinulosum*, e os Rotifera *Keratella tropica* e *Brachionus calyciflorus* (FADURPE, 2005; 2006).

Apesar da maior frequência de estudos realizados na década de 90, certamente impulsionados pela necessidade de execução das políticas nacional e estadual de recursos hídricos, as pesquisas em Limnologia no Estado do Ceará foram voltadas particularmente para a caracterização física e química dos ambientes investigados, especialmente dos reservatórios. No entanto, em razão do caráter precursor das mesmas, as pesquisas careceram de uma correlação com aspectos da ecologia dos reservatórios.

Acredita-se que, com a consolidação de grupos de pesquisa vinculados a cursos recentes de pós-graduação na área de ecologia e saneamento ambiental, além de parcerias de cooperação estabelecidas entre instituições de ensino superior e órgãos estaduais gestores dos recursos hídricos, o estado da arte em Limnologia no Estado do Ceará possa avançar e acompanhar o grau de desenvolvimento já observado em outros estados do Nordeste.

4. Área de Estudo

4.1. Localização e Aspectos Gerais

i) O Estado do Ceará

O Estado do Ceará apresenta cerca de 82% do seu território (119.956,70 km²; 134 municípios) dentro dos limites do semi-árido brasileiro, região convencionalmente delimitada pela isoietal de 800 mm (LINS, 1989). Essa região é particularmente caracterizada pela irregularidade espaço-temporal do regime de chuvas, com a quase totalidade das precipitações concentrada em três ou quatro meses do primeiro semestre, e pelo forte regime de insolação, condições climáticas que induzem a elevadas taxas de evaporação, especialmente durante o segundo semestre do ano (LINS, 1989).

A região semi-árida é caracterizada ecologicamente pelo domínio do bioma caatinga, cuja paisagem é representada principalmente pela vegetação de porte arbóreo ou arbustivo, com ocorrência de espécies decíduas e espinhentas, com elevado grau de xerofilismo (LINS, 1989).

Em geral, os solos da região semi-árida são arenosos ou areno-argilosos, pobres em matéria orgânica, muito embora, com regular teor de cálcio e potássio, predominando os tipos Bruno não-Cálcico, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico, Cambissolo-Litólico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Planossolo Solódico, Regossolo e Solonetz. Os solos rasos são derivados principalmente de rochas cristalinas, praticamente impermeáveis, restringindo as possibilidades de acumulação de água às zonas fraturadas (LINS, 1989).

A formação geológica de natureza predominantemente cristalina, característica da maior parte dos terrenos das Bacias Metropolitanas (Figura 1) e do Estado do Ceará, ao mesmo tempo em que favorece o escoamento instantâneo dos deflúvios, torna irrelevante o suprimento fluvial pelo escoamento subsuperficial, processo responsável pela perenização de rios em outras regiões do país. A dominância dessa feição geológica também reduz a possibilidade de formação de reservas subterrâneas significativas (CEARÁ, 1999).

A irregularidade do regime pluviométrico da região, marcadamente sazonal, propicia, em certos períodos, chuvas abundantes e, alternadamente, anos secos consecutivos, caracterizados por uma precipitação média muito abaixo da histórica (CEARÁ, 1999).

Embora, convencionalmente, o semi-árido brasileiro tenha sido delimitado com base na isoietas de 800 mm (LINS, 1989), uma nova metodologia de redimensionamento da região tem sido proposta, baseando-se principalmente em critérios geo-ecológicos (FUNCEME, 2007). A aplicação da nova metodologia de redimensionamento do semi-árido brasileiro ao território do Estado do Ceará resultou num mapa onde as áreas classificadas como Sub-úmidas se restringiram às regiões elevadas de micro-clima, com o restante do território estadual sendo classificado como região Semi-árida (Figura 2).

4.2. Caracterização Física do Território das Bacias Metropolitanas

As informações apresentadas neste item, relativas às principais características físicas e alguns aspectos sócio-econômicos-ambientais das Bacias Metropolitanas, incluindo as condições locais de saneamento e as atividades potencialmente impactantes identificadas ao longo dos Rios Choró e Cocó, ecossistemas lóticos barrados para a construção dos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente, foram extraídas de CEARÁ (1999) e IPLANCE (2002).

4.2.1. Clima

O clima do território das Bacias Metropolitanas é, predominantemente, quente e estável, com temperaturas elevadas e amplitudes reduzidas, além de elevadas taxas de insolação, o que lhe confere forte poder evaporante. No entanto, a característica climática mais marcante da região é a irregularidade espaço-temporal do regime pluviométrico (CEARÁ, 1999; MENESCAL *et al.*, 2004).

Espacialmente, as maiores variações no regime de chuvas ocorrem nas áreas próximas ao litoral, onde os índices pluviométricos são mais elevados e as temperaturas mais estáveis, e em áreas de maior altitude, onde ocorrem precipitações orográficas e temperaturas mais baixas (CEARÁ, 1999; Figura 3).

A variabilidade temporal é caracterizada principalmente pela concentração das chuvas no primeiro semestre do ano, com a estação chuvosa estendendo-se, historicamente, de janeiro a junho. Os trimestres fevereiro-abril e março-aio respondem, geralmente, por 65 a 70% da precipitação anual. A análise da distribuição interanual da precipitação revela a possibilidade de ocorrência de eventos extremos, com anos muito secos, quando o índice pluviométrico se reduz a 20-25% da média anual, e episódios de enchentes, quando da ocorrência de extremos de precipitação (CEARÁ, 1999).

Figura 1- Mapa ilustrativo das 11 (onze) bacias hidrográficas do Estado do Ceará, com destaque para o território das Bacias Metropolitanas.

Figura 2 – Mapa do Estado do Ceará destacando as áreas Semi-Áridas (áreas claras) e Sub-Úmidas (áreas sombreadas) após redimensionamento da Região Semi-Árida através de metodologia baseada em critérios geológicos (Fonte: FUNCME, 2007).

Com relação à umidade relativa do ar, seus valores costumam ser superiores a 80%, atingindo valores acima de 90% nas regiões litorâneas durante o período chuvoso. O trimestre março/maio apresenta-se, historicamente, como o mais úmido. Durante o segundo semestre, a

redução da umidade relativa do ar é especialmente notada nas regiões mediterrâneas, mais áridas, com valores em torno de 50%, enquanto nas zonas litorâneas a redução, de menor magnitude, resulta em valores entre 60 e 65%. O trimestre setembro/novembro caracteriza-se pelos menores valores de umidade. Quando da ocorrência de anos secos observa-se, além de redução, menor amplitude sazonal. Em média, a umidade relativa do ar nas regiões mais secas é de 60 a 65%, enquanto nas úmidas ultrapassa 70% (CEARÁ, 1999).

Espacialmente, as taxas de insolação apresentam-se pouco variáveis na área de domínio das Bacias Metropolitanas, variando de 2.650 a 3.000 horas.ano⁻¹. Sazonalmente, nota-se uma variação moderada, com os menores valores correspondentes aos meses de maior pluviometria – em torno de 6,0 horas.dia⁻¹. No auge do período seco, as taxas de insolação podem chegar a 9,0 horas.dia⁻¹ (CEARÁ, 1999).

Comportamento antagônico é observado para a variável nebulosidade, a qual atinge, freqüentemente, valores acima de 6,0 décimos durante o período chuvoso e entre 2,0 e 4,0 décimos durante a estiagem, especialmente no trimestre agosto/outubro (CEARÁ, 1999).

Os ventos só têm maior representatividade nas regiões litorâneas ou nos trechos finais dos vales, apresentando maior intensidade durante o segundo semestre, quando a velocidade média situa-se entre 3,0 e 4,0 m.s⁻¹ (CEARÁ, 1999).

O quadro climático descrito favorece sobremaneira a evaporação da água armazenada, sobretudo durante o segundo semestre, provocando perdas hídricas consideráveis nos reservatórios de acumulação superficial. Excetuando-se as áreas elevadas de microclima, as taxas de evaporação apresentam pequena variabilidade espacial dentro dos limites das Bacias Metropolitanas. Em geral, as alturas médias anuais de evaporação medidas em tanques evaporimétricos “Classe A” variam de 2.300 a 2.800 mm, com o extremo inferior correspondendo às áreas litorâneas e o superior às áreas interiores. O trimestre úmido março/maio responde pelos menores índices, enquanto que o trimestre setembro/novembro concentra cerca de 1/3 do total anual evaporado. Nos meses mais quentes, a taxa média diária de evaporação em tanques “Classe A” pode chegar a 12 mm.dia⁻¹ nas zonas mais áridas, enquanto que durante o período de chuvas, os valores variam de 3,5 a 4,5 mm.dia⁻¹. Em anos muito secos, as alturas totais de evaporação podem atingir valores tão altos quanto 3.300 mm.ano⁻¹. No entanto, a amplitude sazonal apresenta-se particularmente reduzida em relação aos anos de comportamento climático ordinário (CEARÁ, 1999).

Figura 3- Mapa ilustrativo da precipitação média anual no território das Bacias Metropolitanas. (Fonte: COGERH, dados não publicados).

4.2.3. Geomorfologia

Em geral, a topografia da região é plana ou levemente ondulada. O domínio geomorfológico de maior representatividade no do território das Bacias Metropolitanas é a Depressão Sertaneja, feição de relevo caracterizada por uma superfície de aplainamento

desenvolvida sobre rochas cristalinas, onde o trabalho erosivo truncou, indistintamente, variados tipos litológicos.

4.2.4. Geologia

Em termos geográficos, o Complexo Gnáissico-Migmatítico é o domínio litológico que ocupa maior área de distribuição no território das Bacias Metropolitanas, representado por rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. Litologicamente, o Complexo Gnáissico-Migmatítico é definido como uma seqüência constituída de gnaisses variados, em parte migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartizíticos e carbonáticos. Os Depósitos Flúvio-Aluvionares são um importante domínio litológico ao longo das calhas dos rios Choró e Cocó, sendo representados por argilas, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas são abundantes, sendo encontradas em todas as calhas de rios e caracterizadas pela boa plasticidade e cores variadas, constituídas principalmente por caulinita.

4.2.5. Solos

As associações de solo são bastante diversificadas, normalmente rasos ou medianamente profundos, com grande incidência de afloramentos rochosos e pavimentos detríticos.

4.2.6. Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal do território das Bacias Metropolitanas é constituída predominantemente por caatinga arbustiva densa, a qual encontra-se geralmente associada ao embasamento cristalino. As espécies mais representativas da caatinga de porte arbustivo da região são a jurema (*Mimosa hostile*), catingueira (*Caesalpina bracteosa*), sabiá (*Mimosa caesapinifolia*), marmeleiro (*Croton sondarianus*) e mandacaru (*Cereus jamacaru*). Nas regiões de curso médio dos rios Choró e Cocó, rios barrados para a construção dos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente, é comum a presença de densos carnaubais (*Copernicia prunifera*) nas várzeas dos eixos principais de drenagem. No trecho compreendido entre os açudes Pompeu Sobrinho e Pacajus observa-se, ao longo do Rio Choró, o predomínio de áreas agrícolas e antropizadas, sendo constatado inclusive o uso de irrigação difusa. Nesse trecho, a mata ciliar apresenta-se praticamente erradicada, apresentando apenas pequenos fragmentos esparsos. A faixa de proteção do açude Pacajus apresenta-se preservada na sua quase totalidade, sendo representada principalmente por vegetação de porte arbustivo, havendo, no entanto, manchas de vegetação arbórea. As áreas degradadas apresentam maior representatividade nas imediações das cidades de Pacajus e Chorozinho, cidades cujo

crescimento das malhas urbanas se processa em direção ao açude Pacajus. A faixa de proteção do açude Gavião apresenta-se composta em sua quase totalidade por vegetação arbórea, estando as áreas antropizadas restritas a uma pequena mancha na sua margem direita e à uma área imediatamente a jusante do reservatório. De modo geral, observa-se, no território das Bacias Metropolitanas, tanto no meio rural como no meio urbano, significativa degradação das matas ciliares dos cursos e reservatórios superficiais, as quais funcionam como sistemas tamponantes naturais ao aporte de poluentes e sedimentos.

4.2.7. Atividades Econômicas

A principal atividade econômica exercida dentro das áreas de domínio dos açudes Pacajus e Gavião é a agropecuária. Na área do entorno do açude Pacajus observa-se, além da pecuária, a apicultura e a policultura, com destaque para as plantações de milho, feijão, batata e caju. Na área de entorno do açude Gavião, além da pecuária, destacam-se os plantios de mandioca, milho, feijão, arroz, fava, batata e cana-de-açúcar. As invasões das poligonais dos reservatórios são motivadas principalmente pelas atividades de pastagem do gado e exploração das vazantes.

4.2.8. Condições de Saneamento

Estado do Ceará não difere, essencialmente, da maioria dos estados brasileiros, onde os principais problemas decorrem da não universalização dos serviços de abastecimento de água e do baixo atendimento do sistemas de esgotamento sanitário à população. Quanto à estrutura de abastecimento de água à população residente nas Bacias Metropolitanas, apesar do índice de cobertura ser superior a 50%, os sistemas em operação necessitam de melhorias que vão desde a substituição de materiais, equipamentos, tubulações e ampliações das diversas unidades dos sistemas até a introdução de novas tecnologias de tratamento de água, monitoramento e controle de perdas, tratamento das águas residuárias de lavagem dos filtros das ETA's e automação dos sistemas. Em relação ao atendimento por rede geral de esgoto, apenas 13,0% dos municípios das Bacias Metropolitanas são atendidos. A grande deficiência no setor de saneamento no conjunto das Bacias Metropolitanas, a exemplo do que ocorre em todo o Estado do Ceará, está no atendimento público do sistema de esgotamento sanitário.

4.2.9. Atividades Antrópicas Impactantes

A maior fonte poluição aos açudes Pacajus e Gavião é certamente o lançamento de efluentes domésticos brutos ao longo dos respectivos rios barrados, já que a área de entorno

aos reservatórios é relativamente bem protegida e as atividades de uso e ocupação do solo são disciplinadas e fiscalizadas por instrumentos legais. A ausência ou precariedade dos sistemas de coleta, tratamento e disposição dos efluentes produzidos pelas populações ribeirinhas induz ao lançamento de grande carga orgânica aos rios, caracterizados pelo regime de fluxo intermitente e limitada capacidade de autodepuração. Disposição indiscriminada de resíduos sólidos às margens dos recursos hídricos, perfuração clandestina de poços superficiais e retirada de areia do leito são algumas irregularidades ambientais comumente observadas ao longo dos rios Choró e Cocó.

5. O Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza - SAABRMF

5.1. Descrição

Quando dos trabalhos de campo, o SAABRMF iniciava-se no açude Orós, reservatório com capacidade para armazenar 1,94 bilhão de metros cúbicos e regularizar uma vazão de 20,4 metros cúbicos por segundo, com 90% de garantia (Figura 4). As águas deste açude eram liberadas para o Rio Jaguaribe, percorrendo 280 km até serem captadas nas proximidades de um barramento de derivação existente próximo à cidade de Itaiçaba. Posteriormente, foi construído o açude Castanhão, com capacidade para armazenar 6,7 bilhões de metros cúbicos, constituindo-se no principal receptor estadual das águas da transposição do rio São Francisco. Desde então, o açude Orós tem perenizado apenas o trecho desde a liberação de suas águas até o encontro com as águas armazenadas pelo açude Castanhão. A partir do barramento existente na cidade de Itaiçaba, a água passa por uma estação de bombeamento (EB Itaiçaba, com capacidade de bombeamento de $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo lançada no Canal do Trabalhador - obra de transferência hídrica com 115 km de extensão. Após este percurso, as águas alcançam o açude Pacajus ($240,0 \text{ hm}^3$; $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$), o primeiro reservatório do SAABRMF, localizado dentro dos limites das Bacias Metropolitanas.

Deste reservatório, as águas são bombeadas através da Estação de Bombeamento EB1-Pacajus ($5,1 \text{ m}^3/\text{s}$) para o açude Ererê ($2,5 \text{ hm}^3$), o menor reservatório do SAABRMF. Do Ererê, as águas percorrem um canal com 4,0 Km de extensão até chegarem à Estação de Bombeamento EB2-Pacajus ($5,1 \text{ m}^3/\text{s}$). A partir daí, as águas são lançadas no Canal Pacoti (8,0 km de extensão), o qual alimenta o açude Pacoti (380 hm^3 ; $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ com 90% de garantia) – reservatório com maior capacidade de acumulação do sistema. Em anos de bom acúmulo, as águas deste açude são transferidas por gravidade para o açude Riachão -

reservatório com capacidade para acumular 47 hm^3 e regularizar uma vazão de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ com 90% de garantia. No entanto, em anos em que o açude Pacoti está com sua capacidade de armazenamento comprometida, a transferência entre os reservatórios é realizada por meio de um sistema de bombeamento auxiliar, com capacidade para $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Este procedimento é necessário quando o volume acumulado no açude Pacoti é inferior a 86 hm^3 (22,7% da sua capacidade).

Após atingir o açude Riachão, as águas são transferidas, por gravidade, para o açude Gavião através de um túnel-canál (Canal Riachão-Gavião). Este reservatório, o último do SAABRMF, possui capacidade para armazenar 30 hm^3 e alimenta, por gravidade, a ETA-Gavião ($5,6 \text{ m}^3/\text{s}$), responsável pelo tratamento da água que abastece as cidades de Fortaleza, Maracanaú e Caucaia. Ainda neste reservatório, há uma estação de bombeamento responsável pela distribuição de água bruta ao Distrito Industrial e às cidades de Maranguape, Pacatuba e Guaiuba.

5.2. Planejamento de Operação do SAABRMF

Segundo COGERH (dados não publicados), a operação dos grandes reservatórios do semi-árido deve ser extremamente criteriosa, pois, em virtude de suas características de acumulação, podem registrar, de forma sensível, a memória de operações passadas. Desta forma, vazões liberadas num determinado período podem comprometer a capacidade de liberação de vazões futuras por um tempo considerável, normalmente de 2 a 5 anos.

Desde 1997, quando a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado (COGERH) assumiu a administração, operação e manutenção dos reservatórios, estações de bombeamento e canais que compõem o SAABRMF, a incorporação de previsões climáticas tem sido utilizada como ferramenta auxiliar no gerenciamento da demanda-oferta da água acumulada no sistema (COGERH, dados não publicados).

O gerenciamento dos estoques de água dos açudes metropolitanos e a importação do açude Orós, situado a mais de 400 km de distância, têm garantido, sem nenhuma restrição, o atendimento às demandas para o abastecimento de uma população de mais de quatro milhões de habitantes e de grande parte do complexo industrial do Estado de Ceará, mesmo quando da ocorrência de anos secos consecutivos (COGERH, dados não publicados).

Figura 4- Esquema ilustrativo do SAABRMF.

A incorporação das previsões climáticas ao planejamento de operação de açudes contribui sobremaneira para a redução das incertezas relacionadas às estimativas de aporte de água durante o período chuvoso (COGERH, dados não publicados; MENESCAL *et al.*, 2004).

Em casos de sistemas complexos como o SAABRMF, onde existe a possibilidade de se importar água de outra bacia, a utilização de informações adquiridas anteriormente à ocorrência de um evento de seca, possibilita que o gestor do sistema hídrico se antecipe e intensifique a importação de água para reforço da oferta. No entanto, os mesmos autores ressaltaram a necessidade de cautela na interpretação das previsões climáticas pelos institutos de pesquisa, especialmente em regiões de clima semi-árido, pois estas se referem ao total precipitado no período, sem fazer menção, no entanto, à sua distribuição no tempo-espaço. Dessa forma, se as chuvas ocorrerem de maneira bem distribuída, pode ocorrer, por exemplo, o favorecimento da atividade agrícola, sem, no entanto, haver garantia de bom armazenamento nos açudes. Este comportamento foi observado durante o ano de 1999 nos açudes do SAABRMF (COGERH, dados não publicados).

6. Materiais e Métodos

6.1. Definição da Periodicidade e Número de Pontos de Amostragem

A identificação dos *clusters* de meses representativos de períodos climáticos mais ou menos homogêneos através de análise estatística multivariada (Análise de Componentes Principais - ACP) auxiliou na escolha dos meses amostrados com base em uma série climática de 30 anos (1961-1990; INMET, 1992), evitando-se o uso critérios intuitivos e aleatórios.

Definidos os *clusters* climáticos, decidiu-se pela amostragem de igual número de meses em cada período hidro-climático, embora o mês de agosto tenha sido representativo, estatisticamente, de um período de transição climática entre as estações chuvosa e seca. A partir daí, optou-se pela realização de seis campanhas, três no período seco: dezembro/1998, agosto/1999 e novembro/1999, e três no período chuvoso: fevereiro/1999, abril/1999 e junho/1999.

A definição do número de pontos de coleta nos açudes Pacajus e Gavião baseou-se na necessidade de otimização entre a disponibilidade de recursos e o cumprimento dos objetivos previamente definidos. Após essa etapa, procurou-se localizar os pontos ao longo dos eixos longitudinais principais dos açudes, de modo a contemplar as regiões ecologicamente diferenciadas hipotetizadas por THORNTON (1990): zonas fluvial, intermediária e lacustre. Essa estratégia de amostragem permitiu a análise, interpretação e discussão dos dados tendo como referência principal a dimensão rio-barragem, abordagem muito enfocada em limnologia de reservatórios. No açude Pacajus, além dos pontos localizados ao longo do eixo longitudinal principal (Rio Choró-Barragem: PJ03, PJ04, PJ05 e PJ06), dois pontos de coleta (PJ01 e PJ02) foram dispostos no canal artificial que liga o reservatório à Estação de Bombeamento EB-1 (Figura 5). Ao todo, foram amostrados 11 (onze) pontos: 06 (seis) no açude Pacajus e 05 (cinco) no Gavião. No açude Gavião os pontos foram distribuídos ao longo do eixo Rio Cocó-Barragem. Os pontos GA01 e GA02 localizaram-se em regiões sob influência direta do Rio Cocó e Túnel-Canal Riachão-Gavião, respectivamente; os demais foram dispostos ao longo do corpo principal do reservatório (GA03, GA04 e GA05), com o ponto GA05 localizado próximo à barragem (Figura 6).

Definidos a periodicidade e o número de pontos, procurou-se ajustar as datas de coleta ao cronograma da COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará), quando haveria disponibilidade de transporte até os reservatórios, barco de coleta e sonda multiparamétrica para medições *in situ*.

Figura 5- Imagem de Satélite (LANDSAT ETM7; Composição 5R4G3B) mostrando a localização dos pontos amostrados no açude Pacajus.

Figura 6- Imagem de Satélite (LANDSAT ETM7; Composição 5R4G3B) mostrando a localização dos pontos amostrados no açude Gavião.

6.2. Perfis de Variáveis Físicas e Químicas

i) Medidas em Campo

As medidas de turbidez, condutividade elétrica (C.E.), temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram feitas *in situ* utilizando-se sonda multiparamétrica (HORIBA, modelo U-10; Kyoto, Japão) previamente calibrada com as respectivas soluções padrões, cobrindo as faixas de valores ordinariamente registrados nos açudes investigados. As soluções padrões foram preparadas de acordo com as instruções no manual da sonda, observando, além das faixas de concentração, o prazo de validade das soluções estoques e as condições ótimas de armazenamento. Dependendo do prazo máximo de estocagem, as soluções eram preparadas a cada campanha de amostragem, em volume suficiente para a realização de pelo menos uma calibração anteriormente às medidas. Em laboratório, realizava-se a calibração individual de cada eletrodo de medição com as respectivas soluções padrões e, em campo, antes da primeira medida ou em caso de suspeita de instabilidade na resposta dos eletrodos, realizava-se um procedimento de calibração rápida com uma solução combinada, com valores conhecidos de pH, C.E. e turbidez. Essa solução foi preparada de acordo com instruções no manual do instrumento. No procedimento de calibração rápida, os sensores de OD e temperatura foram calibrados contra o ar, conforme sugerido pelo fabricante.

As sondagens ao longo dos respectivos perfis verticais foram realizadas da sub-superfície às proximidades dos sedimentos de fundo, em intervalos regulares da coluna d'água, com início a 10 cm de profundidade. Após 0,5 m, as medições foram realizadas em intervalos de 1,0 m a partir do primeiro metro da coluna d'água. Além dos dados referentes aos meses definidos para amostragem, dados complementares correspondentes aos meses de maio, setembro e outubro/1999, obtidos nos mesmos pontos e reservatórios amostrados, foram gentilmente cedidos pela Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME.

A partir da quarta campanha de amostragem (jun./1999) optou-se pela realização de sondagens em pontos intermediários àqueles definidos anteriormente com o objetivo principal de detectar possíveis discontinuidades ecológicas que porventura tivessem sido mascarados pelo intervalo espacial de amostragem anteriormente adotado. Além disso, esse procedimento contribuiu para a diminuição dos resíduos quando da interpolação dos dados para geração dos gráficos de isolinhas correspondentes à distribuição longitudinal (eixo rio-barragem) das variáveis medidas em campo.

A transparência da coluna d'água foi estimada pela profundidade do disco de Secchi, z_{DS} . O coeficiente de atenuação do contraste vertical foi calculado de acordo com KIRK (1986).

ii) Coleta de Água em Profundidade

As amostras de água para análise de alcalinidade total, fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal ($NH_4^+ + NH_3 - N$), íons nitrato ($NO_3^- - N$) e nitrito ($NO_2^- - N$) foram coletadas com amostrador de Van Dorn em profundidades correspondentes à superfície, meio e fundo da coluna d'água, e transferidas para frascos de polietileno, previamente descontaminados com solução de ácido clorídrico, HCl, a 10%, e mantidas a aproximadamente 4°C em isopor com gelo até a chegada ao laboratório. Amostras para determinação de nutrientes dissolvidos foram filtradas em filtros de fibra de vidro (Whatman GF/C 47 mm, Maidstone, Reino Unido), previamente calcinados a 500°C, e congeladas até a ocasião das determinações analíticas, todas de natureza espectrofotométrica, na região visível do espectro eletromagnético (Tabela 1).

As concentrações de clorofila *a* (corrigidas para feofitina) foram determinadas em amostras coletadas na subsuperfície da coluna d'água, após extração a frio com solução de acetona 90%. O volume de amostra filtrada foi variável, sendo definido pela diminuição da velocidade de filtração resultante da colmatção dos filtros de fibra de vidro pela biomassa fitoplanctônica retida.

A determinação da alcalinidade total foi baseada na variação de pH nas imediações do ponto de equivalência utilizando dois indicadores ácido-base responsáveis pela especiação e determinação das concentrações das formas de carbono inorgânico dissolvido (CID) nas amostras. O procedimento analítico e os cálculos das frações de CID, incluindo CO_2 , foram baseados em APHA (1995) e WETZEL & LIKENS (2000).

As concentrações de saturação de OD foram calculadas de acordo com STRASKRABA & TUNDISI (1999).

6.3. Composição Iônica Principal

A análise da composição iônica principal dos açudes Pacajus e Gavião foi feita com base em dois conjuntos de dados coletados durante os biênios 1998^a 1999 e 2000 a 2001. Ao contrário do biênio 1998-1999, quando a coleta de amostras obedeceu a uma periodicidade bimestral, os dados referentes a 2000-2001 foram coletados mensalmente, na subsuperfície da

coluna d'água, em pontos localizados nas proximidades das respectivas barragens. O segundo conjunto de dados (2000-2001) foi gentilmente cedido pela COGERH, responsável pela concepção e execução do Programa de Monitoramento dos Reservatórios das Bacias Metropolitanas.

Tabela 1- Técnicas e Métodos Analíticos utilizados para determinação das variáveis físicas e químicas.

Variáveis	Técnica/Método Analítico	Referência
Temp ($^{\circ}\text{C}$)*	Potenciometria	-
OD (mg.L^{-1})*	Potenciometria	-
pH*	Potenciometria	-
Cond ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)*	Potenciometria	-
Turbidez (UNT)	Nefelometria	-
Transparência da Coluna d'água (m)*	Disco de Secchi	-
Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	Titulometria (Método Visual)	APHA (1995)
Formas de Carbono Inorgânico Dissolvido, incluindo CO_2 livre (mg.L^{-1})	Cálculo de Especiação (Equações de Equilíbrio)	WETZEL & LIKENS (2000)
Cl^{-} (mg.L^{-1})	Titulometria de Precipitação (Método Argentimétrico)	APHA (1995)
SO_4^{2-} (mg.L^{-1})	Espectrofotometria (Método Turbidimétrico)	APHA (1995)
Ca^{2+} e Mg^{2+} (mg.L^{-1})	Titulometria de Complexação com EDTA (Método Visual)	APHA (1995)
Na^{+} e K^{+} (mg.L^{-1})	Fotometria de Chama	APHA (1995)
PT ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Espectrofotometria (Digestão com Persulfato + Reação Colorimétrica – Método Ácido Ascórbico)	APHA (1995)
PO_4^{3-} ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Espectrofotométrico (Método do Ácido Ascórbico)	APHA (1995)
NO_3^{-} (mg.L^{-1})	Espectrofotométrico (Método da Coluna Redutora de Cádmio)B	APHA (1995)
NO_2^{-} ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Espectrofotométrico (Método de Griess)	APHA (1995)
$\text{NH}_{3,4}$ (mg.L^{-1})	Espectrofotométrico (Método Fenato)	APHA (1995)

*: medidas *in situ* (sonda multiparamétrica);

Em virtude da falta de recursos para a determinação dos cátions Na^+ e K^+ por fotometria de chama durante o biênio 1998-1999, a concentração desses íons foi estimada com base nas equações de regressão linear resultantes da análise dos dados referentes ao biênio 2000-2001, contendo a série completa de íons principais. Inicialmente, procedeu-se uma análise de correlação de todos os íons entre si e com a condutividade elétrica (C.E.), resultando em uma matriz de correlação. Em seguida, os pares de íons que retornaram coeficientes de correlação de Pearson estatisticamente significativos ($p < 0,05$) foram separados em planilhas individuais para posterior análise de regressão linear.

Após procedimento preliminar de regressão linear, passava-se a uma etapa posterior de identificação de *outliers*, identificados, estatisticamente, pelo Método da Elipse. Em seguida, procedia-se a eliminação dos *outliers* por uma ferramenta disponível no software STATISTICA 6.0, gerando, automaticamente, uma nova equação de regressão linear, com o respectivo coeficiente de determinação, r^2 . Dessa forma, pela manipulação estatística dos dados, chegava-se a uma equação de regressão que seria usada posteriormente para estimar as concentrações de Na^+ e K^+ referentes ao biênio 1998-1999, ou ainda de algum outro íon, no caso de lacunas nas planilhas de dados.

É importante ressaltar que anteriormente às análises de regressão, todas as concentrações iônicas, expressas originalmente em mg.L^{-1} , foram transformadas em meq.L^{-1} , anulando os efeitos de carga iônica e peso atômico na predição de formação de pares iônicos. Além disso, a transformação prévia das concentrações possibilitou a entrada dos dados no software QUALIGRAF, responsável pela classificação das amostras baseada na dominância iônica.

Além da classificação das amostras com base nos íons dominantes, este software foi usado para classificar as águas dos açudes Pacajus e Gavião quanto ao risco de salinização do solo e danos a culturas através do parâmetro Razão de Adsorção de Sódio (RAS). A aplicação da Análise de Ordenação (aplicação da ACP em modo Q) aos dados de composição iônica principal e C.E. permitiu a análise da heterogeneidade espacial dos reservatórios baseada na variação da força iônica associada às fases do escoamento, ressaltando diferenças entre os períodos seco e chuvoso. Além disso, a aplicação da ACP aos dados possibilitou inferências acerca dos processos de diluição, concentração evaporativa e precipitação de sais pouco solúveis.

6.4. Controle de Qualidade dos Dados

Além dos cuidados usuais com a coleta, acondicionamento e preservação das amostras, foram adotados procedimentos para verificação da qualidade analítica dos dados gerados. O primeiro passo foi a escolha do método analítico observando a disponibilidade de instrumentação, reagentes específicos, características físicas da amostra, tempo de execução e limite de detecção teórico do método. Em caso de dúvida entre dois métodos para análise de um analito específico, procedia-se a construção de três curvas de calibração para cada método, viabilizando, posteriormente, a escolha do método a ser adotado pelos critérios de sensibilidade e reprodutibilidade. Após essa etapa, a sensibilidade e a reprodutibilidade dos métodos analíticos eram avaliados periodicamente pela construção de curvas de calibração a cada batelada de amostras coletadas, com um mínimo de seis curvas para cada analito durante o período de estudo, já que em algumas ocasiões, para testar-se a contaminação tanto de reagentes como da atmosfera do laboratório, procedia-se calibrações em períodos intermediários às coletas.

A adoção desse procedimento e a obtenção de um número razoável de curvas de calibração possibilitou a estimativa do limite de detecção prático para cada método analítico, o qual incorpora, além de características como qualidade dos reagentes utilizados e condições ambientais de trabalho, as limitações ópticas do espectrofotômetro disponível para a leitura dos sinais de absorbância. A partir daí, pode-se estabelecer, com segurança, as concentrações não-detectáveis, denotadas pela sigla ND.

O conhecimento dos limites de detecção práticos para cada método analítico espectrofotométrico teve implicações diretas quando da construção das planilhas de entrada para as análises estatísticas multivariadas, pois adotou-se como critério a substituição dos valores ND pelos respectivos valores dos limites de detecção práticos para cada analito. A adoção desse procedimento evitou a entrada de valores 0 (zero), preservando a integridade (ordem $n \times p$) da matriz de dados original.

Vale salientar que é de fundamental importância a determinação dos limites de detecção práticos, já que geralmente diferem dos teóricos e variam de acordo com a qualidade dos reagentes, as condições de trabalho e a instrumentação analítica utilizada.

A determinação dos limites de detecção práticos foi de grande utilidade no caso das estimativas das concentrações de nutrientes dissolvidos, as quais não raramente, pela influência dos processos de diluição ou assimilação pelo fitoplâncton, retornavam sinais

muito baixos, conferindo grande incerteza às leituras de absorbância e, conseqüentemente, à determinação das concentrações pelos respectivos métodos espectrofotométricos.

No caso dos íons majoritários (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ e SO_4^{2-}), além da identificação de *outliers*, o controle de qualidade dos dados foi feito pela verificação do princípio da eletroneutralidade da amostra, baseado no balanço de carga entre cátions e ânions, quando, teoricamente, espera-se uma solução eletricamente neutra. Anteriormente a esse procedimento, as concentrações foram convertidas em meq.L^{-1} . O critério adotado para inclusão ou eliminação de uma amostra na análise de dominância iônica baseou-se na diferença entre o somatório das concentrações de cátions e ânions, sendo retidas para análise aquelas que apresentaram erro $\leq 5,0\%$.

Vale salientar que a classificação de um valor como *outlier* obedeceu não somente a critérios estatísticos (Método da Elipse; HAKANSON & PETERS, 1995), mas também pela observação da não-correspondência do valor ao de uma variável geralmente correlata. Como exemplo, pode-se citar a observação da concentração máxima de clorofila *a* no açude Pacajus em um ponto de cabeceira, acompanhada de valores máximos de pH e OD. Portanto, a classificação de um valor como *outlier* foi feita considerando-se que o mesmo poderia advir de um evento ecológico, hipótese testada pela observação dos valores de variáveis correlatas.

Após essa rotina de controle, os dados foram incorporados aos respectivos bancos de dados (BD_Pacajus e BD_Gavião), de onde eram consultados e extraídos quando da construção de gráficos, tabelas e procedimentos estatísticos.

6.5. Construção dos Gráficos de Isolinhas

Os gráficos de isolinhas foram construídos a partir da interpolação dos valores medidos utilizando-se o método de *krigagem*, capaz de estimar valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes (LANDIM, 2003). Ao contrário dos demais algoritmos de interpolação, o método de *krigagem*, além dos valores estimados, fornece os resíduos associados (LANDIM, 2003). A estimativa dos valores para locais não-amostrados não exige que os dados sigam uma distribuição normal, no entanto, a presença de distribuição assimétrica, com muitos valores anômalos, deve ser considerada, em razão da *krigagem* ser um método estimador de natureza linear (LANDIM, 2003).

Para a construção dos gráficos de isolinhas, procedeu-se, inicialmente, a confecção de mapas-base representativos da morfometria dos reservatórios nas respectivas datas de coleta,

considerando as dimensões X e Y, correspondentes à distância dos pontos à barragem e às profundidades amostradas (Figura 7), respectivamente.

Figura 7- Exemplo de mapa-base criado a partir dos dados de distância dos pontos à barragem (X) e respectivas $z_{\text{máx}}$ (Y) correspondentes a um dia “x” de medição.

Paralelamente, foram construídos mapas de superfície considerando a dimensão X-Y-Z, onde Z correspondeu aos dados das variáveis obtidos nas respectivas profundidades amostradas (Figura 8) Como dito anteriormente, os valores estimados foram obtidos por interpolação pelo método de *krigagem*.

Figura 8- Exemplo de mapa de isolinhas representativo da distribuição de uma variável “y” na dimensão X-Y-Z.

Em seguida, os mapas base e de isolinhas foram sobrepostos e editados a fim de obterem-se mapas representativos da distribuição longitudinal das variáveis medidas em campo, tendo como referência os limites de profundidade (perfis) correspondentes a cada ponto amostrado (Figura 9).

Figura 9- Distribuição da variável “y” ao longo de um eixo longitudinal representativo da direção rio-barragem.

A definição dos intervalos entre as isolinhas para cada variável foi feita criteriosamente de forma a não perder informações que pudessem ser mascaradas pela adoção de intervalos muito amplos. TOWNSEND (1998) afirmou que a utilização de intervalos de 1,0 °C entre isothermas tende a reduzir a percepção de variação na dimensão X-Y-Z, escondendo gradientes que poderiam ter importância na análise da estrutura térmica e processos de mistura que têm lugar em reservatórios. Dessa forma, o pesquisador recomendou a utilização de um intervalo de 0,2 °C entre isothermas. No presente trabalho, a construção de isolinhas referentes às variáveis amostradas com sonda multiparamétrica serviu não somente para avaliar os padrões de variação espaço-temporal, mas para inferir-se acerca de processos de mistura ao longo da dimensão rio-barragem dos açudes Pacajus e Gavião, especialmente durante o período de aporte. Variáveis como condutividade elétrica e turbidez têm sido utilizadas como traçadores, permitindo a observação de processos de intrusão e mistura através da diferença nas características físicas e químicas entre as águas afluentes e receptoras (TOWNSEND, 1998; FAITHFULL & GRIFFITHS, 2000). A construção de gráficos de isolinhas ao longo do eixo longitudinal principal de reservatórios pode aumentar o entendimento de processos que ocorrem nessa dimensão quando comparado à interpretação de gráficos pontuais.

O arranjo predominante das isolinhas foi usado como critério indicador de processos como mistura completa ou parcial, intrusão, estratificação salina, etc. De acordo com BEADLE (1981), um arranjo horizontal de isothermas é indicativo de maior estabilidade, enquanto que um arranjo predominantemente vertical sinaliza para uma maior eficiência de mistura da coluna d'água.

Todos os gráficos de distribuição longitudinal das variáveis medidas em campo foram construídos utilizando-se o Software SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

6.6. Análise da Heterogeneidade Espacial

No presente trabalho, a heterogeneidade espacial dos açudes Pacajus e Gavião, bem como as mudanças nas configurações espaciais seguindo as alterações nas características hidrodinâmicas dos períodos seco e chuvoso foi investigada através de análise de agrupamento do tipo Cluster como posterior Análise Discriminante Múltipla (ADM). Esse procedimento estatístico possibilitou não somente a identificação e distinção entre os *clusters* correspondentes a cada período hidrológico em resposta às configurações espaciais induzidas por alterações na hidrodinâmica dos reservatórios, mas também a identificação e hierarquização das variáveis responsáveis pela diferenciação entre os agrupamentos formados.

6.6.1. Análise de Agrupamento do tipo Cluster (Método UPGMA)

A heterogeneidade espacial dos açudes Pacajus e Gavião em cada período climático, definidos anteriormente pela ACP com base em dados históricos, foi investigada através de Análise de Cluster, utilizando-se o método de aglomeração da ligação média ou UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), um dos mais utilizados em ecologia, e a distância euclidiana como índice de similaridade (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998; VALENTIN, 2000; BINI, 2004).

Como recomendado para trabalhos dessa natureza, os dados foram padronizados com o propósito de anular as diferenças na dimensionalidade das variáveis limnológicas (BINI, 2004), evitando que aquelas com maior magnitude adquirissem maior importância quando do cálculo algébrico das distâncias euclidianas, coeficiente de parença utilizado como índice de similaridade entre as unidades amostrais.

A separação dos dados em duas planilhas anteriormente à análise de agrupamento possibilitou o teste da hipótese de diferenciação na compartimentalização horizontal dos reservatórios entre os períodos seco e chuvoso seguindo as alterações hidrodinâmicas e ecológicas associadas.

6.6.2. Análise Discriminante Múltipla (ADM)

Após a identificação preliminar dos clusters de pontos em cada reservatório para os diferentes períodos climáticos, optou-se pelo uso da Análise Discriminante Múltipla (ADM) com o propósito de apontar as variáveis limnológicas com maior poder discriminatório entre

os clusters formados. Segundo VALENTIN (2000), este tipo de análise é destinado a interpretar grupos de objetos definidos anteriormente pelos métodos de agrupamento ou ordenação. A hierarquização das variáveis discriminantes foi feita com base no valor do parâmetro “Lambda Parcial (Λ)”, o qual denota a contribuição individual de cada variável para a diferenciação entre os grupos (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998), sendo que quanto menor o valor do critério, maior o poder discriminatório da variável considerada. O valor desse parâmetro varia de 1,0 (nenhum poder discriminatório) a 0,0 (poder discriminatório perfeito), sendo imediatamente calculado a partir do momento em que uma variável entra na função discriminante (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998).

A idéia básica da Análise Discriminante é determinar se os grupos anteriormente formados diferem entre si com relação à média de uma ou mais variáveis, supostamente discriminatórias. Se dois ou mais grupos forem comparados com relação à média de uma variável em particular, a análise discriminante assemelha-se a uma ANOVA; ao contrário, quando diversas variáveis são testadas quanto ao seu poder discriminatório, como geralmente ocorre em estudos ecológicos, o procedimento assemelha-se a uma MANOVA (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998).

Na presente pesquisa, utilizou-se a técnica de Análise Discriminante Múltipla (ADM), onde são calculadas funções discriminantes múltiplas, chamadas também de “variáveis canônicas” (VALENTIM, 2000). O uso dessa técnica permitiu a hierarquização das variáveis com base nos grupos formados ao longo do eixo longitudinal dos açudes Pacajus e Gavião. A adoção dessa metodologia ressaltou a contribuição diferenciada das variáveis para a compartimentalização dos açudes sob condições hidrodinâmicas diferenciadas.

As funções discriminatórias foram construídas pelo procedimento “Forward Stepwise”, onde as variáveis entram no modelo, uma por vez, hierarquicamente, conforme o seu grau discriminatório. Após a entrada da primeira variável no modelo (função discriminante), a qual, estatisticamente, representa o maior poder discriminatório entre os grupos investigados, as demais variáveis foram testadas em etapas subseqüentes e adicionadas ao modelo de acordo com a sua contribuição para a construção da função discriminante. O critério de decisão para a entrada de uma nova variável no modelo de predição é o valor da estatística F, a qual indica a significância estatística de uma variável na discriminação entre grupos, constituindo-se em uma medida da extensão de contribuição única de uma variável para a diferenciação entre grupos (STATSOFT INC., 2001). Na prática, uma variável entra no modelo quando o valor da estatística F calculada foi maior q o F teórico, do modelo, definido

pelo usuário na interface com o software. A escolha do valor de F de entrada (ou do modelo) dependerá da sensibilidade do analista, não devendo ser tão grande, de modo a subestimar a significância estatística das variáveis investigadas quanto ao seu poder discriminatório, nem tão pequeno que gere um modelo pouco representativo, com excesso de variáveis discriminantes.

Em geral, se a análise discriminante envolve dois grupos, codificados por 1 e 2, obtém-se uma equação linear do tipo:

$$\text{Função Discriminante} = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_m * x_m$$

onde a é uma constante, $b_1, \dots, b_m$ são os coeficientes de regressão e $x_1, \dots, x_m$ são as variáveis discriminantes do modelo. Nesse caso, a interpretação dos resultados segue de perto aquela da Regressão Múltipla, onde as variáveis com maior poder discriminatório são identificadas como aquelas que apresentam os maiores valores de b_i associado (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998).

No caso da ADM, quando mais de dois grupos estão envolvidos, várias funções discriminantes podem ser geradas, de modo que o software estatístico determina algumas combinações ótimas das variáveis, com a primeira função discriminante respondendo por grande parte da diferenciação entre os grupos investigados. Vale salientar que as funções discriminantes geradas são ortogonais e, portanto, independentes (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998), de forma que suas contribuições para a diferenciação entre grupos não se sobrepõem.

Após essa primeira etapa, quando foram conhecidas as variáveis com maior poder discriminatório entre os *clusters* previamente definidos pela análise de agrupamento, procedeu-se uma Análise Canônica, com o escopo principal de determinar as sucessivas funções discriminantes (variáveis canônicas) e as raízes canônicas associadas.

É importante destacar que, embora os coeficientes padronizados (b_i) possam ser usados como mensuradores da extensão de contribuição das respectivas variáveis para a discriminação entre os *clusters* investigados, não dizem nada a respeito entre quais grupos as funções canônicas discriminam (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998). Portanto, para visualizar a forma como as funções discriminaram entre os *clusters*, decidiu-se pela plotagem das contribuições (escores) para cada par de funções canônicas estatisticamente significativas (Figura 10).

Figura 10- Exemplo de gráfico bidimensional mostrando a contribuição das Raízes Canônicas I x II para a diferenciação de unidades amostrais em um reservatório “x”.

Todos os procedimentos estatísticos foram executados utilizando-se o software STATISTICA 6.0 (SATSOFT INC., 2001).

O reconhecimento das principais variáveis discriminantes entre os *clusters* definidos pela análise de agrupamento para cada período hidro-climático nos reservatórios investigados permitiu a confecção de mapas de distribuição espacial das mesmas com base em imagens de satélite georeferenciadas dos respectivos espelhos d’água. Da mesma forma que para os gráficos na dimensão X-Y-Z, valores não mensurados foram estimados através de interpolação pela técnica de *krigagem* (LANDIM *et al.*, 2000; LANDIM *et al.*, 2002; LANDIM, 2003).

6.7. Interpretação de Processos

Além da redução na dimensionalidade dos dados (BINI, 2004), de natureza multivariada, a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) foi usada para elucidar a relação entre variáveis e associar os componentes principais estatisticamente significativos gerados (variáveis artificiais) a processos limnológicos na coluna d’água dos açudes Pacajus e Gavião.

De acordo com BINI (2004), dentre as diversas técnicas de ordenação, a ACP é um dos métodos multidimensionais mais utilizados em estudos limnológicos.

O principal objetivo de uma ACP é reduzir o conjunto de variáveis através da geração de um novo conjunto de variáveis, denominadas de artificiais ou componentes principais, responsáveis pela explicação de parte da variabilidade contida nas variáveis originais. Segundo BINI (2004), o primeiro passo para a execução da técnica de ACP é o cálculo de uma matriz de correlação de Pearson a partir da matriz de variáveis limnológicas original, com o objetivo principal de eliminar o efeito das diferentes unidades de mensuração entre as variáveis (BINI, 2004).

Matematicamente, a ACP consiste em gerar um novo conjunto de variáveis artificiais (componentes principais; $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$) como combinações lineares das variáveis originais ($X_1, X_2, \dots, X_n$) (BOLMANN & MARQUES, 2000), de modo que a primeira componente principal representará a maior parte da variabilidade dos dados, enquanto o segundo componente principal representará a maior parte da variabilidade do restante de dados, e assim, sucessivamente (VALENTIM, 2000; BINI, 2004). No entanto, BINI (2004) ressalta que a ortogonalidade entre os componentes sucessivos é de fundamental importância para a identificação de processos limnológicos.

Assim, com base em uma matriz de correlação entre m variáveis, serão calculados m autovetores, correspondentes às variáveis artificiais, de comprimentos $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (autovalores) decrescentes de acordo com a sua contribuição para a variância total dos dados (VALENTIM, 2000). Os autovetores fornecem os coeficientes utilizados na formação de p combinações lineares das variáveis originais.

$$Y_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1);$$

$$Y_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \quad (a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1);$$

.

.

.

$$Y_p = a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{pp}X_p \quad (a_{p1}^2 + a_{p2}^2 + \dots + a_{pp}^2 = 1)$$

Após a extração dos componentes principais, utilizou-se o método *screen-plot* para escolha dos componentes principais retidos para interpretação dos dados (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998; BINI, 2004). De modo geral, dois ou três componentes são suficientes para explicar a maior parte da variabilidade total dos dados originais, sendo que quanto maior a correlação entre as variáveis, menor o número de variáveis artificiais geradas e, conseqüentemente, a possibilidade de sucesso na explicação dos processos limnológicos

(BINI, 2004). O método *screen-plot* nada mais é do que um método gráfico onde os componentes principais são plotados contra os respectivos *eigenvalues*, os quais denotam a percentagem de explicação da variância total dos dados para cada componente principal extraído. A partir daí, recomenda-se que os fatores retidos para interpretação sejam aqueles localizados acima do ponto onde a curva apresenta uma mudança brusca de direção, representando uma descontinuidade. No entanto, deve-se ter em mente que o número de fatores a serem interpretados depende da habilidade do pesquisador em extrair informações a partir de eixos sucessivos, de acordo com o seu interesse. Portanto, por mais que estatisticamente o número de componentes principais representativos seja “x”, o pesquisador pode ater-se a um número mínimo suficiente para explicar o que lhe convém, a luz da(s) hipótese(s) proposta(s).

Da mesma forma que para a análise de agrupamento, quando hipotetizou-se que as condições hidrodinâmicas diferenciadas entre os períodos seco e chuvoso dariam origem a configurações espaciais peculiares, determinadas principalmente por alterações ecológicas induzidas por mudanças nas condições hidrodinâmicas dos reservatórios, os dados foram separados com o intuito de caracterizar os açudes com base nos processos dominantes em cada período hidro-climático. Dessa forma, foram construídas duas planilhas para cada açude, correspondentes às épocas seca e chuvosa.

6.8. Comunidade Zooplancônica

Amostras para identificação e contagem do zooplâncton dos açudes Pacajus e Gavião foram coletadas através de arrastes verticais nos mesmos pontos de amostragem das variáveis físicas e químicas, nos meses de dez./1998 (final do período seco) e jun./1999 (final do período chuvoso). Os arrastes foram realizados com uma rede cônica de malha 45 μ m (boca: 30 cm; comprimento: 90 cm). As amostras concentradas foram fixadas com solução de formalina a 4% (v/v), transferidas para frascos de vidro âmbar com capacidade para 200 mL e acondicionados em isopor. Os frascos contendo as amostras, devidamente identificadas, foram enviados para o Centro de Estudos Ambientais da UNESP - Rio Claro-SP, para identificação e contagem de organismos zooplancônicos.

A identificação, em nível específico, foi realizada sob microscopia óptica utilizando bibliografia especializada (EDMONDSON, 1959; ELMOOR-LOUREIRO, 1997; PAGGI, 1995; KOSTE, 1978; LOUREIRO, 1988; MATSUMURA-TUNDISI, 1984; MATSUMURA-TUNDISI, 1986; MATSUMURA-TUNDISI & ROCHA, 1983; PARANAGUÁ &

NEWMANN-LEITÃO, 1982; PENNAK, 1978; REID, 1985; ROCHA & MATSUMURA-TUNDISI, 1976; SMIRNOV, 1971). As análises quantitativas de rotíferos e náuplios de copépodos foram realizadas em microscópio óptico, utilizando-se câmaras de Sedgwick-Rafter (1,0 mL), com contagem de 01 (um) a 05 (cinco) câmaras – dependendo da concentração de organismos – para determinação da densidade e abundância relativa das espécies identificadas. Os microcrustáceos foram contados em câmaras reticuladas de acrílico com auxílio de um microscópio estereoscópio (20-40x), utilizando-se sub-amostras ou amostras inteiras, dependendo da densidade de organismos. Nos dois casos, foram contados um mínimo de 300 indivíduos.

A densidade de organismos foi calculada levando-se em conta o volume de água filtrada ao longo da coluna d'água de cada ponto amostrado e o tamanho das respectivas sub-amostras retiradas para análise (APHA, 1995), sendo os resultados expressos como abundância absoluta (nº de indivíduos por metro cúbico) e abundância relativa. O índice de diversidade do zooplâncton foi calculado de acordo com SHANNON & WEAVER (1949).

A aplicação da ACP aos dados de composição da comunidade zooplanctônica nos açudes Pacajus e Gavião teve como principal objetivo associar a alternância de dominância de espécies e grupos entre os períodos hidro-climáticos às alterações sazonais no estado trófico dos reservatórios. Além disso, a Análise de Ordenação (modo Q) permitiu inferências acerca da heterogeneidade na distribuição espacial do zooplâncton ao longo do continuum rio-barragem, associando-a aos respectivos gradientes tróficos espaciais.

As ACPs foram rodadas a partir de matrizes de dados confeccionadas de modo a ressaltar as especificidades de cada sistema em relação à dominância de grupos e espécies nos períodos hidro-climáticos investigados. Portanto, cada reservatório apresentou um grupo de matrizes associadas, as quais contemplaram, separadamente, grupos e espécies mais abundantes referentes a cada período, viabilizando a interpretação segmentada dos resultados.

Anteriormente à aplicação das ACPs, todos os dados foram log transformados ($\log(x+1)$); procedimento que, além de garantir a estabilização da variância, evitou a interferência de valores “0” durante a rotina estatística.

6.9. Estimativa das Variáveis Morfométricas

i) Profundidade Média ($z_{méd}$)

A disponibilização dos valores de cotas diárias e dos respectivos valores de área e volume calculados automaticamente a partir de um banco de dados gerenciado pela COGERH, permitiu a obtenção de valores diários de $z_{méd}$ para os açudes investigados. A obtenção de dados diários aumentou a precisão no cálculo das $z_{méd}$ mensais.

ii) Profundidade Máxima ($z_{máx}$)

A $z_{máx}$ correspondente aos pontos amostrados nos respectivos dias de coleta foi determinada com a ajuda de uma trena fixada a uma corda com a extremidade presa a uma âncora de aproximadamente 10 kg. Os dados obtidos em campo foram confrontados com os valores estimados a partir de interpolação considerando os dados de $z_{máx}$ de cada ponto na cota de cheia. Esse procedimento foi viabilizado pelo conhecimento das coordenadas geográficas dos pontos amostrados, armazenadas na base de dados da COGERH.

6.10. Tempo de Residência (TR)

Apesar das limitações na transposição do conceito de tempo de residência aos reservatórios investigados, o cálculo dessa variável numa base mensal foi realizado por achar-se que sua inclusão na análise e interpretação dos resultados poderia ser de grande valia se levado em consideração o caráter comparativo da pesquisa.

O cálculo dos TRs mensais foram realizados com base nos volumes e vazões afluentes mensais obtidos a partir de consultas ao SAGREH – Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Recursos Hídricos, concebido e constantemente atualizado pela COGERH. Os volumes mensais foram obtidos diretamente da base de dados, enquanto as vazões afluentes foram estimadas a partir do balanço hídrico para cada reservatório.

6.11. Análise Climática

A análise climática teve como principal objetivo a identificação de períodos climáticos bem definidos que pudessem caracterizar estatisticamente as estações seca e chuvosa através da ordenação dos meses do ano (unidades amostrais) na forma de *clusters*. Para este fim, utilizou-se uma série histórica de 30 anos (1961-1990; INMET, 1992) com as médias mensais das variáveis temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, nebulosidade, além dos totais mensais de precipitação pluviométrica, insolação e evaporação. Inicialmente, procedeu-se uma ACP em modo R, para verificação de correlação entre as variáveis e, sem

seguida, uma análise de ordenação (modo Q), considerando os meses do ano como unidades amostrais.

A mesma metodologia foi aplicada para os dados climáticos referentes ao período de estudo (1998-99) para fins de comparação com o padrão climático observado quando da análise da série histórica.

6.12. Análise de Sazonalidade

A ocorrência de sazonalidade foi investigada através da submissão de algumas variáveis climáticas a análises de estatística circular, utilizando-se o software ORIANA 2.01 (KOVACH COMPUTING SERVICES, 2004), desenvolvido para tratamento de dados coletados em escala cíclica.

Alguns dados são circulares por natureza, outros necessitam de transformações específicas antes de serem submetidos a procedimentos de estatística circular. Portanto, para alcançar o objetivo proposto pelo presente trabalho, os meses do ano foram convertidos em ângulos, de 0° - janeiro/1999 a 360° - dezembro/1999, em intervalos de 30° .

Para o teste de sazonalidade, partiu-se do princípio que os dados das variáveis analisadas estivessem aderidos à distribuição de Von Mises e, portanto, distribuídos uniformemente em torno de um círculo perfeito. Esse modelo de distribuição é o mais comum dentre os utilizados para dados de natureza circular, sendo unimodal e semelhante àquele da distribuição normal para dados lineares.

Muitos dos parâmetros de estatística circular são baseados no conceito do vetor médio, propriedade característica de um grupo de observações ou vetores individuais. O parâmetro vetor médio tem duas propriedades: direção, representada pela medida do ângulo médio, μ , e comprimento, denotado por r . O comprimento de um determinado vetor varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a concentração dos dados em torno de uma média. O parâmetro concentração, κ , específico para a distribuição de Von Mises, mede o afastamento dos dados em relação a um círculo perfeito (ou a uma distribuição homogênea), estando diretamente relacionada ao comprimento do vetor médio, r .

Inicialmente, procedeu-se o teste de uniformidade de Rayleigh (Z), o qual retorna a probabilidade, p , dos dados estarem homoganeamente distribuídos em torno de um ângulo médio, μ (Hipótese nula, H_0). Nesse caso, o aceite de H_0 pressupõe ausência de direção preferencial do ângulo médio e, portanto, de sazonalidade. O valor de Z é calculado pela

fórmula $Z: n.r^2$, onde n é o número de observações e r é o comprimento do vetor médio. Um alto valor de r e, conseqüentemente, de Z , significa uma maior concentração dos dados em torno de um ângulo médio e, portanto, menor a probabilidade de estarem uniformemente distribuídos. O aceite da hipótese alternativa, H_A , significa a existência de um ângulo médio (μ) significativo ou uma direção média preferencial e, portanto, alguma sazonalidade na distribuição dos dados. Em caso de aceite de H_A , procedeu-se o teste F pareado de Watson-Williams, o qual verifica se os ângulos médios (μ) de duas ou mais amostras diferem significativamente entre si. O teste assume que as amostras são independentes e seguem a distribuição de von Mises. A estatística F resultante é igual àquela da estatística linear calculada pela fórmula de Fisher (razão entre variâncias). O valor de p , retornado para cada teste, representa a probabilidade associada com a hipótese nula, H_o , dos ângulos médios serem iguais. Se a probabilidade retornada for menor que aquela definida pelo nível de significância estatística considerado ($p: 0,05$), H_o é rejeitada em favor da hipótese alternativa, H_A , de que os ângulos médios das amostras consideradas diferem significativamente, sendo indicativo de ocorrência de um certo grau de sazonalidade.

7. Resultados

7.1. Análise dos Padrões Climáticos Regionais

7.1.1. Perspectiva Histórica (1961-1990)

A Análise de Componentes Principais (ACP), considerando as médias mensais das variáveis temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, nebulosidade, além dos totais mensais de precipitação pluviométrica, insolação e evaporação, num intervalo de 30 anos (INMET, 1992) deu origem a dois fatores estatisticamente significativos, os quais explicaram cerca de 92,79% da variabilidade total dos dados. O fator I (78,71%) evidenciou o antagonismo entre as variáveis climáticas responsáveis pela delimitação dos períodos seco e chuvoso, destacando dois agrupamentos: i) NEBUL. + PREC. + UMID. e ii) INSOL. + VENTO + EVAP. (Figura 11). O segundo fator (14,08%) esteve correlacionado somente com a variável temperatura do ar (TEMP.).

A Análise de Ordenação, considerando os meses como “unidades amostrais”, resultou em dois *clusters* principais, representativos de dois períodos climáticos bem definidos (Figura 12): i) período seco, representado pelo quadrimestre setembro-dezembro, quando predominam taxas elevadas de insolação e evaporação; sendo as últimas favorecidas pelas maiores velocidades do vento típicas do período, e ii) período chuvoso, caracterizado pela elevada umidade relativa do ar e maior nebulosidade, estando bem representado pelo período que vai de fevereiro a junho.

O mês de janeiro, apesar de prenunciar, historicamente, o início do período chuvoso, ainda apresenta elevadas taxas de insolação e temperatura do ar em comparação com os meses subsequentes, inseridos no período chuvoso propriamente dito. Julho e agosto marcam um período de transição entre as estações chuvosa e seca e são caracterizados por chuvas isoladas e aumento na velocidade dos ventos e taxas de insolação em relação ao período chuvoso imediatamente anterior.

Figura 11- Plano Fatorial formado pelos dois eixos estatisticamente significativos (IxII) da ACP referente às médias mensais das variáveis temperatura do ar (TEMP), umidade relativa (UMID), velocidade do vento (VENTO), nebulosidade (NEBUL.) e aos totais mensais de precipitação pluviométrica (PREC.), insolação (INSOL.) e evaporação (EVAP.).

Figura 12- Plano Fatorial (IxII) resultante da Análise de Ordenação dos meses do ano, mostrando dois *clusters* principais representativos dos períodos seco e chuvoso, além dos meses de jan., jul. e ago., caracterizados por condições atmosféricas intermediárias.

7.1.2. Período de Estudo (1998-1999)

O período de estudo foi caracterizado principalmente pela concentração das chuvas no trimestre março-maio, responsável por 71,0% do total anual precipitado. Com exceção de maio/1999, o qual apresentou um total precipitado de 408,2 mm, os demais meses apresentaram totais mensais abaixo dos históricos correspondentes. O total anual durante o período de estudo (1.356,4 mm) também ficou abaixo do valor histórico médio correspondente (1.642,3 mm), caracterizando-o como um ano seco. A partir de maio/1999, os índices pluviométricos caíram significativamente, atingindo um mínimo em julho/1999: 1,8 mm. Este comportamento também foi observado para variáveis climáticas associadas, como umidade relativa do ar e nebulosidade.

Como de ordinário, o segundo semestre do ano foi caracterizado por elevadas taxas de insolação e aumento nas velocidades do vento a partir de junho/1999. A maior velocidade média do vento foi registrada em setembro/1999 (6,7 m/s), seguida de outubro e novembro/1999: 6,3 e 6,1 m.s^{-1} , respectivamente. De junho/1999 em diante os valores máximos de velocidade do vento foram iguais ou superiores a 8,0 m.s^{-1} , atingindo valores da ordem de 10,0 m.s^{-1} durante o trimestre setembro-novembro/1999, o qual apresentou também os maiores totais mensais de insolação.

A ACP aplicada aos dados climáticos relativos ao biênio 1998-1999 retornou dois eixos estatisticamente significativos, explicando cerca de 93,0% da variabilidade total dos dados. O primeiro fator (76,65%) esteve correlacionado positivamente com as variáveis insolação, vento e evaporação, as quais definiram o cenário do segundo semestre (Figura 13). Da mesma forma como para a ACP relativa aos dados históricos, a temperatura do ar apareceu como única variável correlacionada com o fator II (15,54%), ratificando sua pequena importância relativa para a diferenciação entre os períodos seco e chuvoso.

A Análise de Ordenação deu origem a um *cluster* representativo da estação chuvosa, bem definida e com extensão reduzida, representada pelo trimestre março-maio (Figura 14). Um segundo *cluster* representou o quadrimestre julho-outubro, agrupamento representativo do período seco. Junho e o quadrimestre novembro-fevereiro foram considerados períodos de transição, apresentando condições atmosféricas intermediárias entre os períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 13- Plano Fatorial formado pelos dois eixos estatisticamente significativos (I e II) da ACP referente às médias mensais das variáveis temperatura do ar (TEMP), umidade relativa (UMID), velocidade do vento (VENTO), nebulosidade (NEBUL.) e aos totais mensais de precipitação pluviométrica (PREC.), insolação (INSOL.) e evaporação (EVAP.).

Figura 14- Plano Fatorial (I e II) resultante da Análise de Ordenação dos meses do ano, mostrando dois clusters principais representativos dos períodos seco e chuvoso, além dos meses de jan., jul. e ago., caracterizados por condições atmosféricas intermediárias.

7.1.3. Análise de Sazonalidade

A existência de sazonalidade durante o biênio 1998-99 foi verificada utilizando-se o teste de uniformidade de Rayleigh (Z). As variáveis analisadas foram Temperatura do ar (9 h e 15 h), Nebulosidade (9 h e 15 h), Insolação e Vento (9 h e 15 h). Os resultados evidenciaram que, com base no valor do comprimento do vetor médio (r), todas as variáveis apresentaram padrão de sazonalidade significativo, inclusive aquelas com menores amplitudes de variação anual (Tabela 2).

Tabela 2- Resultados da análise de estatística circular para a ocorrência de sazonalidade em algumas variáveis climáticas, utilizando-se o teste de uniformidade de Rayleigh (Z).

	Variáveis Climáticas						
	Temp. Ar (9 h)	Temp. Ar (15 h)	Nebulos. (9 h)	Nebulos. (15 h)	Insolação	Vento (9 h)	Vento (15 h)
No. Observações	365	365	365	365	365	363	363
Ângulo médio (μ)	28,425	29,768	5,861	4,261	7,832	5,037	4,985
Desvio padrão circular	1,549	1,19	2,585	2,764	3,558	1,597	1,556
Variância circular	0,0007	0,0004	0,002	0,002	0,004	0,0008	0,0007
Comp. vetor médio (r)	0,999	0,999	0,996	0,995	0,992	0,998	0,999
Concentração (κ)	342,631	580,006	123,306	107,928	65,335	322,132	339,366
Rayleigh (Z)	363,935	364,371	362,04	361,618	359,413	361,873	361,93

Com relação ao vento, o teste F de Watson-Williams delimitou dois períodos bem diferenciados (Tabela 2): um correspondente ao trimestre chuvoso março-maio, quando foram registradas as menores médias mensais, e o agrupamento formado pelos meses setembro-outubro-novembro, responsável pelos valores máximos de velocidade do vento durante o período de estudo (Figura 15). Além desses grupos, foi identificado um período de transição, caracterizado por velocidades intermediárias entre os períodos de mínimo e máximo, representado pelo trimestre junho-agosto, com velocidades de vento crescentes e superiores àsquelas do período chuvoso, imediatamente anterior. De acordo com os dados cedidos pela Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME, os ventos sopraram, predominantemente, na direção Sudeste (SE), com maior frequência de ocorrência para aqueles com velocidades entre 4,0 e 6,0 m/s, mesmo comportamento verificado para os ventos Leste, como mostra a Figura 15.

Figura 15- Histograma circular mostrando a direção e velocidade predominantes dos ventos. Os ângulos 0°, 90°, 180° e 270° representam as direções Norte, Leste, Sul e Oeste, respectivamente.

A variável insolação apresentou, essencialmente, o mesmo padrão de sazonalidade, com a delimitação de um período de mínimo, correspondendo ao trimestre chuvoso março-maio (Tabela 2), e outro correspondente ao segundo semestre do ano, representado pelo quadrimestre agosto-novembro, responsável pelos valores máximos (Figura 16). Novamente aqui, destaca-se um período de transição, representado por junho e julho, com valores intermediários entre os períodos chuvoso e seco.

Figura 16- Histograma Circular representativo da variável Insolação. Os ângulos 0°, 90°, 180° e 270° representam as direções Norte, Leste, Sul e Oeste, respectivamente.

A variável nebulosidade apresentou um padrão de sazonalidade inverso ao observado para a insolação. No entanto, da mesma forma que para as demais variáveis analisadas, definiu dois períodos extremos, além de um de transição, com características intermediárias (Figura 17).

Figura 17- Histograma circular para a variável Nebulosidade (9 h). Os ângulos 0°, 90°, 180° e 270° representam as direções Norte, Leste, Sul e Oeste, respectivamente.

Apesar de ter apresentado baixos índices pluviométricos em comparação com o trimestre chuvoso março-maio, o mês de fevereiro apresentou valores similares de nebulosidade, juntando-se a este grupo de acordo com o teste F pareado empregado (Tabela 4). Vale ressaltar que, historicamente, o período chuvoso estende-se de janeiro a junho, com concentração das chuvas em três ou quatro meses, de acordo com os padrões intra- e inter- anuais do regime pluviométrico da região, marcadamente irregular no tempo-espço.

Tabela 3- Resultado do Teste F de Watson-Williams para a variável Velocidade do vento. Os valores de F e p correspondentes estão nas diagonais inferior e superior, respectivamente.

	Dez.98	Jan.99	Fev.99	Mar.99	Abr.99	Mai.99	Jun.99	Jul.99	Ago.99	Set.99	Out.99	Nov.99
Dez.98	-----	0,041	0,058	2,37E-6	1,04E-5	0,004	0,697	0,837	0,883	0,009	0,137	0,069
Jan.99	4,384	-----	0,971	9,34E-4	0,004	0,302	0,094	0,011	0,055	1,04E-5	3,83E-4	2,04E-4
Fev.99	3,748	0,001	-----	0,001	0,006	0,31	0,123	0,017	0,076	3,79E-5	9,00E-4	5,31E-4
Mar.9	27,637	12,24	11,371	-----	0,627	0,02	8,06E-6	3,95E-8	3,39E-6	2,24E-10	3,14E-9	4,68E-9
Abr.99	23,238	8,849	8,159	0,239	-----	0,064	3,74E-5	3,37E-7	1,54E-5	6,65E-10	1,49E-8	1,63E-8
Mai.99	9,101	1,086	1,049	5,729	3,567	-----	0,011	5,12E-4	0,005	5,36E-7	1,71E-5	1,14E-5
Jun.99	0,153	2,894	2,462	24,265	19,943	6,989	-----	0,518	0,806	0,003	0,059	0,029
Jul.99	0,043	6,889	6,028	40,424	33,04	13,547	0,424	-----	0,709	0,007	0,144	0,068
Ago.99	0,022	3,829	3,268	26,61	22,197	8,362	0,061	0,14	-----	0,006	0,1	0,049
Set.99	7,267	23,319	20,224	60,047	54,514	31,912	9,506	7,791	8,16	-----	0,19	0,411
Out.99	2,273	14,191	12,353	49,358	43,047	21,983	3,698	2,197	2,796	1,759	-----	0,654
Nov.99	3,432	15,718	13,61	48,2	42,979	23,146	5,018	3,462	4,035	0,687	0,202	-----

Tabela 4- Resultado do Teste F de Watson-Williams para a variável Nebulosidade. Os valores F e p correspondentes estão nas diagonais inferior e superior, respectivamente.

	Dez.98	Jan.99	Fev.99	Mar.99	Abr.99	Mai.99	Jun.99	Jul.99	Ago.99	Set.99	Out.99	Nov.99
Dez.98	-----	0,407	0,026	3,71E-4	6,96E-5	0,056	0,546	2,79E-4	3,27E-6	0,035	0,135	0,589
Jan.99	0,697	-----	0,142	0,007	0,002	0,243	0,188	3,22E-5	2,93E-7	0,006	0,028	0,155
Fev.99	5,191	2,216	-----	0,333	0,159	0,788	0,013	1,19E-6	1,19E-8	1,73E-4	0,001	0,005
Mar.99	14,24	7,897	0,952	-----	0,592	0,209	2,31E-4	1,55E-9	3,57E-12	4,60E-7	5,68E-6	1,31E-5
Abr.99	18,318	10,917	2,041	0,291	-----	0,092	5,51E-5	3,75E-10	0	8,94E-8	1,14E-6	1,66E-6
Mai.99	3,797	1,39	0,073	1,614	2,935	-----	0,025	2,74E-6	3,22E-8	4,47E-4	0,002	0,014
Jun.99	0,369	1,773	6,626	15,39	18,954	5,278	-----	0,004	1,71E-4	0,18	0,433	0,849
Jul.99	14,909	20,215	29,522	50,712	56,348	26,823	8,738	-----	0,399	0,087	0,026	4,98E-4

Ago.99	26,325	33,327	44,297	75,155	82,578	40,272	16,108	0,723	-----	0,008	0,001	3,98E-6
Set.99	4,668	8,276	16,203	32,106	37,342	13,835	1,838	3,035	7,666	-----	0,561	0,067
Out.99	2,298	5,042	11,915	24,806	29,415	9,969	0,624	5,23	11,157	0,341	-----	0,251
Nov.99	0,295	2,077	8,638	22,634	28,45	6,465	0,037	13,584	25,867	3,477	1,343	-----

Tabela 5- Resultado do Teste F de Watson-Williams para a variável Insolação. Os valores de F e p correspondentes estão nas diagonais inferior e superior, respectivamente.

	Dez.98	Jan.99	Fev.99	Mar.99	Abr.99	Mai.99	Jun.99	Jul.99	Ago.99	Set.99	Out.99	Nov.99
Dez.98	-----	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jan.99	108,779	-----	0,069	8,98E-5	2,57E-5	0,004	0,568	0,256	0,004	0,004	0,004	0,004
Fev.99	112,588	3,44	-----	0,068	0,029	0,371	0,016	0,005	2,90E-5	3,56E-5	3,25E-5	3,15E-5
Mar.99	169,567	17,642	3,449	-----	0,639	0,346	3,17E-6	6,51E-7	2,47E-10	2,58E-10	2,70E-10	2,03E-10
Abr.99	170,536	20,853	4,999	0,222	-----	0,175	8,63E-7	1,85E-7	8,96E-11	9,59E-11	9,70E-11	7,60E-11
Mai.99	138,99	8,843	0,812	0,902	1,882	-----	4,26E-4	1,03E-4	1,64E-7	1,95E-7	1,83E-7	1,64E-7
Jun.99	113,3	0,33	6,222	26,507	30,354	13,973	-----	0,486	0,003	0,003	0,004	0,003
Jul.99	103,664	1,313	8,564	30,945	34,878	17,343	0,492	-----	0,043	0,053	0,049	0,048
Ago.99	92,457	9,234	20,667	57,581	61,991	35,264	9,423	4,27	-----	0,777	0,919	0,778
Set.99	95,353	8,838	20,194	57,791	62,154	34,883	9,445	3,909	0,081	-----	0,861	0,991
Out.99	93,762	8,945	20,37	57,244	61,671	34,922	9,1	4,021	0,01	0,031	-----	0,864
Nov.99	96,049	9,06	20,511	58,733	63,109	35,414	9,862	4,06	0,08	1,30E-4	0,029	-----

Tabela 6- Resultado do Teste F de Watson-Williams para a variável Temperatura do ar. Os valores de F e p correspondentes estão nas diagonais inferior e superior, respectivamente.

	Dez.98	Jan.99	Fev.99	Mar.99	Abr.99	Mai.99	Jun.99	Jul.99	Ago.9	Set.99	Out.99	Nov.99
Dez.98	-----	0,094	9,21E-4	6,09E-9	1,95E-8	8,48E-9	7,84E-11	5,90E-9	1,20E-6	6,47E-5	0,279	0,796
Jan.99	2,9	-----	0,073	4,45E-5	5,28E-5	1,49E-4	1,33E-4	0,003	0,02	0,06	0,371	0,046
Fev.99	12,225	3,344	-----	0,049	0,039	0,129	0,251	0,747	0,869	0,732	0,006	2,93E-4
Mar.99	45,873	19,393	4,041	-----	0,798	0,493	0,134	0,012	0,004	0,005	7,10E-8	3,84E-10
Abr.99	42,136	19,011	4,477	0,066	-----	0,365	0,097	0,01	0,003	0,004	1,90E-7	2,13E-9
Mai.99	44,736	16,406	2,372	0,475	0,832	-----	0,424	0,049	0,015	0,017	1,20E-7	2,45E-10
Jun.99	62,532	16,719	1,345	2,308	2,847	0,647	-----	0,079	0,019	0,028	1,26E-9	0
Jul.99	45,983	9,893	0,105	6,717	7,073	4,023	3,193	-----	0,362	0,296	1,45E-7	1,44E-12
Ago.9	29,168	5,743	0,027	9,093	9,299	6,255	5,838	0,845	-----	0,767	2,81E-5	6,74E-9
Set.99	18,503	3,677	0,118	8,609	8,882	5,987	5,069	1,112	0,089	-----	9,06E-4	3,98E-6
Out.99	1,195	0,811	8,236	37,727	34,799	36,066	51,767	35,488	20,569	12,216	-----	0,121
Nov.99	0,067	4,168	14,926	56,252	50,159	58	104,441	79,912	45,773	25,961	2,471	-----

7.2. Comportamento Hidrológico e Hidráulico dos Açudes Pacajus e Gavião

7.2.1. Variação dos Estoques Armazenados

Durante o primeiro semestre, o aporte ao açude Pacajus deve-se às águas que drenam a bacia hidrográfica quando das precipitações, além da contribuição das transferências hídricas através do Canal do Trabalhador. No segundo semestre, o aporte, quando necessário, deve-se exclusivamente às transferências do Canal do Trabalhador.

No açude Gavião, durante o primeiro semestre, o aporte é proveniente de deflúvios e de transferências do subsistema Pacoti-Riachão através do canal-túnel Riachão-Gavião, quando as águas de escoamento não são suficientes para mantê-lo na cota operacional exigida (acima de 35,0 m). No segundo semestre, o aporte deve-se, exclusivamente às transferências do subsistema Pacoti-Riachão (MENESCAL *et al.*, 2004).

Em anos de crise de armazenamento, quando a captação por gravidade fica inviabilizada, instala-se um sistema de bombeamento auxiliar no açude Gavião, garantindo a vazão da ETA-Gavião. As perdas por evaporação são compensadas pela liberação de uma vazão adicional de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente do subsistema Pacoti-Riachão.

Durante o triênio 1994-1996, devido ao bom armazenamento de água nos açudes metropolitanos (Figura 18 e Figura 19), não houve necessidade de importação de água da bacia do Rio Jaguaribe através do Canal do Trabalhador, bem como de transferência de água do açude Pacajus para o açude Pacoti, ficando todas as estações de bombeamento (EB's) e canais desativados (MENESCAL *et al.*, 2004).

Ao contrário, o triênio 1997-1999 foi marcado por medidas de gerenciamento baseadas em previsões climáticas para o ano de 1997, as quais indicavam a ocorrência de chuvas abaixo da média histórica para o Estado do Ceará. Portanto, para se entender a variação dos estoques no SAABRMF durante o período do estudo (dezembro/1998 a novembro/1999) faz-se necessário o conhecimento das medidas de planejamento e operação colocadas em prática a partir de 1997 para garantir as demandas regionais de água.

Como o aporte de água ao SAABRMF durante o ano de 1998 foi praticamente nulo, garantindo sequer a demanda do período chuvoso, as simulações realizadas pela COGERH mostraram que o açude Pacoti sofreria depleção para níveis inferiores à cota de 36,0 m, inviabilizando a comunicação do subsistema Pacoti-Riachão-Gavião por gravidade através do túnel-canál.

Figura 18- Histórico do Volume armazenado no açude Gavião entre Jan./1994 e Dez./2005.

Figura 19- Histórico do Volume armazenado no açude Pacajus entre Jan./1994 e Dez./2005.

Em junho/1998, diante da impossibilidade de manter o nível d'água do açude Gavião da cota operacional de 35,0 m, fez-se necessária a instalação de mais um sistema de bombeamento junto ao açude Pacoti, garantindo assim a recuperação artificial dos níveis d'água dos açudes Riachão e Gavião. O sistema de bombeamento auxiliar, com capacidade para $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$, entrou em operação em novembro/1998 (MENESCAL *et al*, 2004). A partir de então, com a manutenção dos limites mínimos de operação dos reservatórios do

SAABRMF através de transferências hídricas internas, o foco passou a ser a viabilização do aporte externo, já que os prognósticos para 1999 eram pessimistas.

Em julho/1999 o SAABRMF começou a receber reforço das águas do Rio Jaguaribe através do Canal do Trabalhador, o qual manteve uma vazão de $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ até julho de 2000 (MENESCAL *et al.*, 2004). Esse aporte externo garantiu não só a recuperação do volume armazenado no açude Pacajus (Figura 19), mas a manutenção dos níveis mínimos operacionais para a realização de transferências internas entre os açudes do sistema, garantindo também a permanência do nível d'água do açude Gavião acima da cota operacional de 36,0 m.

Portanto, a situação hídrica e as condições operacionais dos reservatórios do SAABRMF durante o período de estudo podem ser retratadas pelos seguintes eventos:

- i) período chuvoso com média pluviométrica inferior à média histórica;
- ii) baixo acúmulo nos reservatórios, como sugerido pelas simulações baseadas em previsões climáticas para o período;
- iii) transferências hídricas internas viabilizadas a partir da instalação de um sistema auxiliar de bombeamento no açude Pacoti, maior reservatório do SAABRMF;
- iv) sacrifício dos volumes acumulados nos açudes Pacajus, Pacoti e Riachão em função da manutenção dos níveis do açude Gavião (último açude do sistema, à montante da ETA Gavião) numa cota operacional mínima;
- v) reforço do sistema através transferências hídricas externas via Canal do Trabalhador.

7.2.2. Variação Temporal do Tempo de Residência Teórico (1998-1999)

O tempo de residência é uma variável hidráulica fundamental para o entendimento do acoplamento entre os processos hidrodinâmicos e ecológicos que têm lugar em reservatórios, especialmente se localizados numa área de mesmo domínio ecológico (STRASKRABA *et al.*, 1993), podendo, portanto, ser utilizada como variável auxiliar para inferências acerca das diferenças limnológicas observadas entre os ecossistemas investigados.

No entanto, NASELLI-FLORES (1999), discorrendo acerca da aplicabilidade do conceito de tempo de residência a reservatórios localizados na Sicília (Itália), uma região tipicamente semi-árida, destacou a grande diferença entre as vazões de saída e entrada, além da grande variação interanual dos volumes estocados, como pontos críticos na transposição do

conceito de tempo de residência a reservatórios localizados em áreas submetidas a condições ecológicas muito peculiares, como as com balanço hídrico negativo.

Além disso, NASELLI-FLORES (1999) destacou que o cálculo do tempo de residência em períodos de ausência de aporte ou liberação de água, como comumente ocorre em reservatórios de regiões semi-áridas, pode resultar em valores infinitos. Outro ponto considerado pelo pesquisador foi a grande amplitude de variação do tempo de residência quando calculada com base no aporte anual, em razão da grande variação interanual dos volumes estocados.

De acordo com a classificação proposta por STRASKRABA (1999), os açudes Pacajus e Gavião podem ser enquadrados nas Classes C ($TR > 1$ ano) e B ($2 \text{ semanas} < TR < 1$ ano), sendo classificados como reservatórios de fluxo lento e intermediário, respectivamente (Figura 20 e Figura 21). Embora essa classificação tenha sido baseada em dados e simulações a reservatórios temperados, sua aplicação tem sido verificada para reservatórios mono- ou polimíticos localizados em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, devido às grandes e extensivas alterações nos padrões de fluxo e níveis d'água geralmente observados em reservatórios, as fronteiras entre as classes propostas foram estabelecidas de forma mais ou menos arbitrária (STRASKRABA, 1999). Além disso, alterações nos padrões sazonais de operação, determinadas por mudanças no regime hidrológico e pelas demandas regionais, podem reclassificar o reservatório em diferentes períodos (STRASKRABA, 1999).

Ainda segundo STRASKRABA *et al.* (1993), a necessidade de armazenamento de água sob condições específicas de baixo aporte faz com que os projetos de construção de reservatórios em regiões semi-áridas contemplem uma alta razão área da bacia hidrográfica/área da bacia hidráulica. Essa necessidade fica mais evidente quando se comparam estes reservatórios com aqueles de regiões de clima temperado.

Figura 20- Volume armazenado, aporte e tempo de residência teórico mensais durante o biênio 1998-99 no açude Pacajus.

Figura 21- Volume armazenado, aporte e tempo de residência teórico mensais durante o biênio 1998-99 no açude Pacajus.

THORNTON & RAST (1993), num estudo sobre reservatórios localizados em várias regiões semi-áridas do mundo, constataram que suas áreas de bacia hidrográfica são de 143 a 166 vezes maiores que as áreas das respectivas bacias hidráulicas. No mesmo estudo, os pesquisadores encontraram uma média geométrica de 93 para a razão área da bacia hidrográfica/área da bacia hidráulica para reservatórios localizados nos Estados Unidos, os quais apresentaram tempos de residência de 2,5 a 3 vezes menores que aqueles de regiões semi-árida.

Apesar das limitações na transposição do conceito de tempo de residência a reservatórios de regiões semi-áridas, o cálculo dessa variável numa base mensal foi realizado por achar-se que sua inclusão na análise e interpretação dos resultados poderia ser útil, especialmente para inferências comparativas.

7.3. Estrutura Térmica da Coluna D'água

Durante os meses do segundo semestre, o arranjo das isotermas no açude Pacajus foi predominantemente vertical, particularmente na região lacustre do reservatório, representada pelo ponto PJ03 (Figura 22, Figura 23 e Figura 24). Nos demais compartimentos, apesar da disposição horizontalizada das isolinhas, o afastamento entre elas denotou pequenos gradientes verticais, insuficientes para o destacamento de uma termoclina típica.

Figura 22- Distribuição da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus (Rio Choró-barragem) em ago./1999.

Figura 23- Distribuição da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em out./1999.

Os pequenos gradientes verticais observados deram origem aos menores valores de resistência térmica à circulação (RTC) durante o período de estudo no reservatório (Figura 25), caracterizando um cenário de instabilidade térmica.

Figura 24- Distribuição da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em nov./1999.

Figura 25- Valores de RTC correspondentes aos meses de (a) jun., (b) ago., (c) set. e (d) nov./1999 no ponto PJ03 (próximo à barragem).

A disposição das isolinhas de C.E. no ponto PJ03, localizado nas proximidades da barragem do reservatório (Figura 26), mostrou tendência à holomixia da coluna d'água durante todo o período de estudo, ratificando a ocorrência de gradientes salinos insignificantes.

Figura 28- Valores de RTC correspondentes aos meses de (a) abr., (b) mai., (c) jun. e (d) set./1999 no ponto PJ04 (região intermediária).

A disposição das isolinhas de densidade correspondentes aos meses do período seco ratificou a tendência à mistura completa da coluna d'água (Figura 29, Figura 30 e Figura 31).

Figura 29- Distribuição da densidade (g.cm^{-3}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em ago./1999.

Figura 30- Distribuição da densidade (g.cm^{-3}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em out./1999.

Figura 31- Distribuição da densidade (g.cm^{-3}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em nov./1999.

Ao contrário do período seco, as isotermas correspondentes ao período chuvoso apresentaram-se predominantemente horizontalizadas, refletindo maiores gradientes térmicos verticais ao longo do eixo longitudinal principal do reservatório, particularmente nas zonas superior e intermediária (Figura 32). Essa época do ano também foi caracterizada pelas menores intensidades do vento, principal forçante responsável pela redistribuição do calor acumulado na superfície da coluna d'água durante o segundo semestre.

Os significativos gradientes térmicos verticais na região fluvial do açude Pacajus foram mais evidentes em abr./1999, como mostra a maior densidade e proximidade das isotermas (Figura 33).

Figura 32- Distribuição da temperatura da água ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em fev./1999.

Mai./1999, apesar de apresentar, essencialmente, o mesmo comportamento térmico (Figura 34), foi caracterizado por gradientes verticais menos pronunciados e, conseqüentemente, menores valores de RTC em comparação a abr./1999. Esta situação foi especialmente notada no ponto PJ03, localizado próximo ao barramento, em região aberta à ação dos ventos. No ponto PJ04, localizado em uma região com presença de vegetação remanescente parcialmente inundada, foram observados valores de RTC superiores àqueles relativos ao período seco (Figura 35).

Figura 33- Distribuição da temperatura da água ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em abr./1999

Figura 34- Distribuição da temperatura da água ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em mai./1999.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 35- Valores de RTC correspondentes aos pontos PJ03 (próx. barragem): (a) abr. e (b) mai./1999, e PJ04 (região intermediária): (a) abr. e (d) mai./1999.

O açude Gavião, apesar de apresentar comportamento térmico similar ao Pacajus, com os meses do período chuvoso caracterizados pela maior estabilidade da coluna d'água em comparação àqueles do período seco, apresentou gradientes verticais e longitudinais mais suaves (Figura 36 e Figura 37).

Figura 36- Distribuição da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião (Rio Cocó-barragem) em fev./1999.

Figura 37- Distribuição da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em abr./1999.

Da mesma forma que o açude Pacajus, a coluna d'água do açude Gavião apresentou tendência à isoterma, particularmente nas regiões central e lacustre do reservatório (Figura 38 e Figura 39).

Figura 38- Distribuição longitudinal da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião (Rio Cocó-barragem) em set./1999.

Figura 39- Distribuição longitudinal da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em out./1999.

De modo geral, pode-se afirmar que durante o segundo semestre do ano, quando o vento atuou como principal agente indutor de circulação, os reservatórios apresentaram ausência ou gradientes térmicos verticais discretos.

Durante o período chuvoso, apesar dos maiores gradientes térmicos, a queda de temperatura ao longo dos perfis verticais correspondentes às zonas lacustres dos açudes Pacajus e Gavião (PJ03 e GA05; Figura 40 e Figura 41) foi escalonada, sempre com gradientes de $0,1^{\circ}\text{C.m}^{-1}$, condição que não permitiu o destacamento de uma termoclina típica.

A tendência à holomixia durante o segundo semestre também foi observada no açude Gavião, particularmente na região lacustre (Figura 42).

Figura 40- Variação temporal da temperatura da água (°C) no perfil vertical correspondente ao ponto PJ03.

Figura 41- Variação temporal da temperatura da água (°C) no perfil vertical correspondente ao ponto GA05.

Figura 42- Variação temporal da C.E. (mS.cm⁻¹) no perfil vertical correspondente ao ponto GA05.

7.4. Condutividade Elétrica (C.E.)

Nos dois reservatórios as maiores medianas de C.E. foram observadas em fev. e abr./1999, meses inseridos no período chuvoso, e nos meses correspondentes ao final do período seco de cada ano amostrado (dez./1998 e dez./1999) (Figura 43).

Figura 43- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de C.E. entre De./1998 e Nov./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

Observando a variação temporal da C.E. em função do volume armazenado nos açudes Pacajus e Gavião durante o período de estudo, pode-se destacar três momentos: i) período de aporte de sais, correspondente ao início do período chuvoso, representado principalmente pelos meses de fev. e abr./1999, quando foram observadas elevadas medianas de C.E.; ii) período de “águas altas”, correspondente ao final do período chuvoso, quando foram registradas medianas inferiores; e iii) período de concentração de sais, correspondente ao segundo semestre, com valores crescentes de C.E. em direção ao final da época seca (Figura 44 e Figura 45).

Figura 44- Evolução do volume armazenado entre nov./1998 e dez./1999 e médias mensais de C.E. correspondentes aos meses amostrados no açude Pacajus.

Figura 45- Evolução do volume armazenado entre nov./1998 e dez./1999 e médias mensais de C.E. correspondentes aos meses amostrados no açude Gavião.

Espacialmente, a distribuição da C.E. revelou comportamentos distintos nos dois açudes. Enquanto as zonas superior e intermediária do açude Pacajus apresentaram maior força iônica, no açude Gavião, a transferência de águas mais diluídas do subsistema Pacoti-

Riachão via Canal Riachão-Gavião deu origem a uma zona de menor força iônica, correspondente ao ponto GA02, localizado logo a jusante da região fluvial do açude (Figura 46).

Figura 46- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em mai./1999.

Uma peculiaridade do açude Gavião é a menor contribuição do aporte do rio barrado em relação às águas afluentes através do Canal Riachão-Gavião (águas de transferência hídrica), condição especialmente notada em anos de elevado déficit hídrico, como foi o caso do período de estudo.

Abr. e mai./1999 ressaltaram gradientes longitudinais significativos na direção rio-barragem no açude Pacajus, quando as águas mais concentradas do rio barrado chegaram ao reservatório sem um processo inicial evidente de mistura, ocupando uma camada de densidade similar ao fluxo original do rio. Nesses meses, as águas mais densas do Rio Choró pareceram substituir as águas receptoras na região fluvial do reservatório (Figura 47 e Figura 48). No mesmo período, observou-se maior afastamento das isolinhas de C.E. em direção à região de barragem do reservatório.

Figura 47- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) na direção rio-barragem do açude Pacajus em abr./1999.

Figura 48- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) na direção rio-barragem do açude Pacajus em mai./1999.

O período seco foi caracterizado pela disposição predominantemente verticalizada das isolinhas de C.E., refletindo ausência ou pequenos gradientes salinos nos reservatórios, inclusive nas regiões mais profundas. Essa situação foi especialmente notada nos meses de jun., out. e nov./1999 (Figura 49 e Figura 50), os dois últimos inseridos no trimestre caracterizado pelas maiores médias de velocidade do vento. Outra peculiaridade observada nesse período foi o maior afastamento das isolinhas em relação ao período chuvoso.

Em ago./1999, apesar da tendência geral observada durante o segundo semestre, foram registrados significativos gradientes salinos verticais na região fluvial do açude Pacajus, especialmente se levada em consideração a sua pequena $z_{\text{méd}} \cong 2,0 \text{ m}$ (Figura 51). Os gradientes salinos foram acompanhados de significativos gradientes de turbidez, como revelado pela distribuição das isolinhas na direção rio-barragem (Figura 52). Valores de turbidez tão altos quanto 112 UNT foram medidos na zona superior do açude Pacajus nessa época do ano.

Figura 49- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) na direção rio-barragem do açude Pacajus em nov./1999.

Figura 50- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) na direção rio-barragem do açude Gavião em out./1999.

O arranjo das isolinhas nessa região do reservatório, mostrando valores máximos de C.E. e turbidez junto ao fundo da coluna d'água, suscitou a hipótese de ressuspensão vento-induzida dos sedimentos de fundo.

Figura 51- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) na direção rio-barragem do açude Pacajus em ago./1999.

Figura 52- Distribuição da Turbidez (UNT) na direção rio-barragem do açude Pacajus em ago./1999.

De modo geral, os gradientes longitudinais de C.E. no açude Gavião foram mais suaves. A distribuição das isolinhas de C.E. ao longo do eixo rio-barragem mostrou a entrada das águas com menor força iônica provenientes do subsistema Pacoti-Riachão através do Canal Riachão-Gavião, especialmente nos meses de maior aporte (abr., mai. e jun./1999; Figura 53).

Figura 53- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em abr./1999.

7.5. Composição Iônica Principal

A composição iônica principal do açude Pacajus revelou o seguinte padrão de dominância: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} :: \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$; padrão similar ao observado no Gavião: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{CO}_3^{2-} :: \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$.

Os açudes Pacajus e Gavião apresentaram o mesmo padrão de dominância iônica que os demais reservatórios que compõem o SAABRMF, com dominância catiônica dos íons Na^+ e aniônica dos íons Cl^- (Tabela 7).

Tabela 7- Dominância iônica em reservatórios pertencentes às bacias do Alto Jaguaribe, Acaraú, Banabuiú, Curu e Metropolitanas.

Açude	Bacia Hidrográfica	Padrão de Dominância Iônica
Orós	Alto Jaguaribe	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Trussu	Alto Jaguaribe	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Araras	Acaraú	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Ayres de Souza	Acaraú	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Edson Queiroz	Acaraú	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} \approx \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Banabuiú	Banabuiú	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Pedras Brancas	Banabuiú	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Caxitoré	Curu	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} \approx \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Frios	Curu	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
General Sampaio	Curu	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} \approx \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Pentecoste	Curu	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Pacajus*	Metropolitanas	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Gavião*	Metropolitanas	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Pacoti*	Metropolitanas	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$
Riachão*	Metropolitanas	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$

* Reservatórios do SAABRMF.

Os reservatórios da bacia do Rio Acaraú (açudes Araras, Ayres de Souza e Edson Queiroz) apresentaram semelhanças no padrão de dominância iônica, havendo, no entanto, dominância dos íons HCO_3^- sobre os íons Cl^- . A mesma tendência de dominância aniônica ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$) também foi observada para os açudes da Bacia do Alto Jaguaribe (Orós e Trussu), permanecendo o sódio, Na^+ , como cátion dominante.

A composição iônica majoritária dos açudes da Bacia do Curu foi similar àquela dos açudes Pacajus e Gavião, com dominância dos íons Na^+ e Cl^- . Dentre as bacias investigadas,

as Metropolitanas e a do Curu são as que apresentam maior proximidade da linha de costa.

Sazonalmente, não houve diferença no padrão de dominância iônica entre os períodos seco e chuvoso (Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11).

Tabela 8- C.E. e concentração (meq.L⁻¹) dos íons majoritários no açude Pacajus nos meses correspondentes ao período seco.

Ponto	Mês	C.E.	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
PJ01	dez.98	1180	5.37	1.21	2.73	0.36	8.04	1.11	0.50	0.16
PJ02	dez.98	1175	5.33	1.21	2.61	0.36	7.97	1.08	0.58	0.16
PJ03	dez.98	1137	5.17	1.05	2.70	0.35	7.71	1.14	0.55	0.10
PJ04	dez.98	1193	5.43	1.04	2.89	0.37	8.13	0.99	0.60	0.11
PJ05	dez.98	1290	5.98	1.05	2.71	0.41	9.04	1.05	0.32	0.11
PJ06	dez.98	1550	6.87	1.19	3.75	0.47	10.52	0.81	0.86	0.17
PJ01	ago.99	767	4.07	0.94	2.07	0.28	5.89	1.39	0.14	0.24
PJ02	ago.99	763	3.95	0.94	2.07	0.27	5.69	1.43	0.14	0.08
PJ03	ago.99	749	3.92	0.99	2.00	0.27	5.64	1.45	0.14	0.05
PJ04	ago.99	790	4.23	1.01	2.19	0.29	6.16	0.95	0.14	0.18
PJ05	ago.99	960	4.60	1.12	2.22	0.31	6.77	1.29	0.04	0.03
PJ06	ago.99	1040	5.11	1.23	2.71	0.35	7.61	1.32	0.00	0.04
PJ01	nov.99	776	3.86	1.08	1.93	0.26	5.53	1.46	0.29	0.14
PJ02	nov.99	766	3.83	1.01	1.97	0.26	5.50	1.54	0.11	0.17
PJ03	nov.99	804	4.09	1.03	1.83	0.28	5.92	1.53	0.12	0.26
PJ04	nov.99	947	4.42	1.12	2.15	0.30	6.46	1.43	0.12	0.33
PJ05	nov.99	990	4.56	1.10	2.30	0.31	6.70	1.38	0.11	0.39
PJ06	nov.99	1320	6.44	0.72	3.93	0.44	9.80	1.21	0.86	0.18
	Mínimo	756	3.83	0.72	1.83	0.26	5.50	0.81	0.00	0.03
	Média	1016	4.85	1.06	2.49	0.33	7.17	1.25	0.31	0.16
	Máximo	1550	6.87	1.23	3.93	0.47	10.52	1.54	0.86	0.39
	D. Padrão	242	0.92	0.12	0.59	0.06	1.53	0.22	0.28	0.10

Tabela 9- C.E. e concentração (meq.L⁻¹) dos íons majoritários no açude Pacajus nos meses correspondentes ao período chuvoso.

Ponto	Mês	C.E.	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PJ01	fev.99	1120	5.11	0.35	1.26	2.36	7.61	0.00	1.71	0.32
PJ02	fev.99	1095	4.94	0.34	1.12	2.40	7.33	0.00	1.68	0.20
PJ03	fev.99	1040	4.91	0.33	1.15	2.26	7.28	0.00	1.70	0.16
PJ04	fev.99	1153	5.26	0.36	1.28	2.47	7.85	0.00	1.63	0.38
PJ05	fev.99	1260	5.84	0.40	1.23	2.55	8.81	0.00	1.36	0.41
PJ06	fev.99	1440	6.65	0.45	1.37	2.78	10.15	0.00	1.27	0.39
PJ01	abr.99	965	5.07	0.34	0.90	3.00	7.54	0.22	1.36	0.14
PJ02	abr.99	1017	4.89	0.33	0.94	2.88	7.24	0.19	1.39	0.19
PJ03	abr.99	1063	5.07	0.34	0.72	3.24	7.54	0.31	1.35	0.06
PJ04	abr.99	993	4.77	0.32	0.72	3.31	7.05	0.24	1.27	0.07
PJ05	abr.99	1020	4.77	0.32	0.22	4.43	7.05	0.18	0.97	0.06
PJ06	abr.99	1410	6.48	0.44	0.14	5.57	9.87	0.43	1.52	0.68
PJ01	jun.99	766	4.22	0.29	0.92	2.25	6.13	0.00	1.29	0.14
PJ02	jun.99	754	4.00	0.27	0.87	2.21	5.77	0.00	1.30	0.11
PJ03	jun.99	740	4.06	0.28	0.82	2.13	5.87	0.00	1.27	0.16
PJ04	jun.99	743	4.12	0.28	0.93	2.10	5.97	0.00	1.16	0.34
PJ05	jun.99	750	4.13	0.28	1.09	2.06	5.99	0.00	1.15	0.14
PJ06	jun.99	1430	6.48	0.44	0.32	4.75	9.87	0.00	1.89	0.06
Mínimo		740	4.00	0.27	0.14	2.06	5.77	0.00	0.97	0.06
Média		1042	5.04	0.34	0.89	2.93	7.50	0.09	1.40	0.22
Máximo		1440	6.65	0.45	1.37	5.57	10.15	0.43	1.89	0.68
D. Padrão		236	0.84	0.06	0.36	1.01	1.39	0.14	0.24	0.17

Tabela 10- C.E. e concentração (meq.L⁻¹) dos íons majoritários no açude Gavião nos meses correspondentes ao período seco.

Ponto	Mês	C.E.	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
GA01	dez.98	1190	7.09	1.19	2.75	0.48	8.46	0.57	0.58	0.31
GA02	dez.98	1170	6.79	1.33	2.57	0.46	8.11	0.77	0.76	0.25
GA03	dez.98	-	6.79	1.33	2.59	0.46	8.11	-	-	0.25
GA04	dez.98	1155	6.79	1.23	2.63	0.46	8.11	0.57	0.47	0.26
GA05	dez.98	1130	6.67	1.21	2.59	0.45	7.97	0.71	0.50	0.24
GA01	ago.99	1020	6.12	1.01	2.57	0.42	7.33	1.21	0.14	0.26
GA04	ago.99	1060	6.16	0.94	2.62	0.42	7.38	1.15	0.19	0.25
GA05	ago.99	1060	6.12	0.92	2.71	0.42	7.33	1.16	0.19	0.24

GA01	nov.99	1140	6.30	1.08	2.43	0.43	7.54	1.32	0.22	0.35
GA04	nov.99	1123	6.42	1.08	2.52	0.44	7.68	1.24	0.22	0.33
GA05	nov.99	1123	6.42	1.08	2.57	0.44	7.68	1.23	0.19	0.31
Mínimo		1020	6.12	0.92	2.43	0.42	7.33	0.57	0.14	0.24
Média		1117	6.52	1.13	2.59	0.44	7.79	0.99	0.35	0.28
Máximo		1190	7.09	1.33	2.75	0.48	8.46	1.32	0.76	0.35
D. Padrão		54	0.33	0.14	0.09	0.02	0.38	0.30	0.21	0.04

Tabela 11- C.E. e concentração (meq.L⁻¹) dos íons majoritários no açude Gavião nos meses correspondentes ao período chuvoso.

Ponto	Mês	C.E.	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
GA01	fev.99	1260	7.45	2.96	1.04	0.46	8.88	1.24	0.00	0.25
GA02	fev.99	1270	7.45	1.98	1.93	0.47	8.88	1.31	0.00	0.28
GA03	fev.99	1265	7.39	1.73	2.38	0.51	8.81	1.29	0.00	0.22
GA04	fev.99	1253	7.29	1.76	2.45	0.50	8.69	1.27	0.00	0.25
GA05	fev.99	1240	7.21	1.56	2.68	0.49	8.60	1.33	0.00	0.25
GA01	abr.99	1240	7.57	0.51	1.01	3.07	9.02	0.72	0.81	0.12
GA02	abr.99	1230	6.81	1.18	2.74	0.46	8.13	0.98	0.46	0.13
GA03	abr.99	1205	7.51	1.16	3.29	0.51	8.95	1.06	0.50	0.14
GA04	abr.99	1213	7.66	1.01	3.43	0.52	9.12	1.08	0.48	0.13
GA05	abr.99	1147	7.61	1.06	3.26	0.51	9.07	1.03	0.58	0.13
GA01	jun.99	1100	6.36	0.43	0.87	2.36	7.61	0.14	1.03	0.27
GA02	jun.99	1025	5.94	0.85	2.48	0.41	7.12	1.13	0.18	0.23
GA03	jun.99	1085	6.06	0.83	2.50	0.41	7.26	1.11	0.14	0.24
GA04	jun.99	1183	5.88	0.79	2.30	0.40	7.05	1.01	0.19	0.23
GA05	jun.99	1170	5.64	0.69	2.32	0.38	6.77	1.01	0.14	0.20
Mínimo		1025	5.64	0.43	0.87	0.38	6.77	0.14	0.00	0.12
Média		1192	6.92	1.23	2.31	0.76	8.26	1.05	0.30	0.20
Máximo		1270	7.66	2.96	3.43	3.07	9.12	1.33	1.03	0.28
D. Padrão		74	0.73	0.67	0.80	0.80	0.86	0.30	0.33	0.06

De acordo com o Diagrama de Piper, as águas dos açudes Pacajus e Gavião foram classificadas como cloretadas-sódicas (Figura 54 e Figura 55).

Figura 54- Diagrama de Piper mostrando a classificação das águas do açude Pacajus com base na composição iônica principal.

Figura 55- Diagrama de Piper mostrando a classificação das águas do açude Gavião baseada na dominância iônica.

Embora os resultados mostrassem que não houve grandes diferenças nas concentrações e proporções iônicas entre as épocas seca e chuvosa, foram observados gradientes longitudinais marcantes, ratificando a ocorrência de heterogeneidade iônica nos açudes Pacajus e Gavião.

Os gradientes espaciais iônicos nos reservatórios foram identificados através de Análise de Ordenação às matrizes de dados correspondentes a cada período hidrológico. Além das concentrações dos íons majoritários (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} e SO_4^{2-}), os valores correspondentes de C.E. também foram incorporados às análises estatísticas.

A Análise de Ordenação das unidades amostrais do açude Pacajus referente ao período seco destacou um gradiente longitudinal caracterizado pela diminuição dos valores de C.E. na direção rio Choró-barragem. Os pontos localizados na região lacustre e ao longo do canal artificial do reservatório (PJ03 e PJ01-PJ02, respectivamente) apresentaram menor força iônica e maior similaridade entre si, formando um agrupamento na extrema esquerda do espaço vetorial apresentado na Figura 56.

Além da heterogeneidade espacial, o exame do diagrama permitiu identificar gradientes entre os meses amostrados no período seco. O mês de dez./1998 (1), representativo do final do período de estiagem, apareceu à direita do plano, isolado em relação aos demais, enquanto que os meses de ago. (2) e nov./1999 (3), caracterizados por medianas de C.E. inferiores, apareceram mais associados e deslocados para a esquerda do diagrama.

A Análise de Classificação relativa ao período chuvoso mostrou um maior distanciamento do ponto PJ06, localizado na região sob influência direta do Rio Choró, em relação aos demais amostrados.

Da mesma forma que para a época seca, foram observados gradientes iônicos entre os meses amostrados no período chuvoso, caracterizando as diferentes fases do escoamento (Figura 57). A fase final do escoamento, representada pelo mês de jun./1999, foi bem caracterizada pelo *cluster* de pontos localizados na extrema direita do diagrama.

Figura 56- Diagrama de Ordenação das unidades amostrais do açude Pacajus no espaço bidimensional (81,02%) gerado pela análise de classificação referente aos dados do período seco. (1): dez./1998, (2) ago./1999 e (3) nov./1999.

Figura 57- Diagrama de Ordenação das unidades amostrais do açude Pacajus no espaço bidimensional (74,98%) gerado pela análise de classificação referente aos dados do período chuvoso. (1): fev./1999, (2) abr./1999 e (3) jun./1999.

Os gradientes salinos também foram bem caracterizados dentre os meses do período chuvoso no açude Gavião, com o mês de jun./1999, correspondente ao final da fase de escoamento, localizado no extremo esquerdo do plano fatorial mostrado pela Figura 58.

Figura 58- Diagrama de ordenação das unidades amostrais do açude Gavião no espaço bidimensional (71,29%) gerado pela análise de classificação referente aos dados do período chuvoso. (1): fev./1999, (2) abr./1999 e (3) jun./1999.

Nesse reservatório, os gradientes temporais também foram ressaltados dentre os meses do período seco, com o mês de dez./1998, localizado no extremo esquerdo do diagrama (Figura 59), apresentando os maiores valores de C.E., seguido de nov.(3) e ago./1999(2), respectivamente.

Figura 59- Diagrama de Ordenação das unidades amostrais do açude Gavião no espaço bidimensional (89,31%) gerado pela análise de classificação referente aos dados do período seco.

A análise regressão linear entre os íons majoritários e a C.E. referente ao período seco nos açudes Pacajus e Gavião revelou forte correlação entre os íons Cl^- e Na^+ e a C.E. Apesar de serem considerados íons não-conservativos, os íons Mg^{2+} e CO_3^{2-} apresentaram coeficientes de correlação significativos com a C.E. nesta época do ano (Tabela 12 e Tabela 14).

Tabela 12- Matriz de Correlação relativa aos dados do período seco no açude Pacajus. Os valores de r estatisticamente significativos ($p < 0,05$) aparecem em negrito.

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	C.E.
Na^+	1.00	1.00	0.18	0.92	1.00	0.77	-0.57	-0.14	0.98
K^+	1.00	1.00	0.18	0.92	1.00	0.77	-0.57	-0.14	0.98
Ca^{2+}	0.18	0.18	1.00	0.04	0.18	-0.02	-0.12	0.05	0.29
Mg^{2+}	0.92	0.92	0.04	1.00	0.92	0.80	-0.58	-0.17	0.89
Cl^-	1.00	1.00	0.18	0.92	1.00	0.77	-0.57	-0.14	0.98
CO_3^{2-}	0.77	0.77	-0.02	0.80	0.77	1.00	-0.50	-0.19	0.78
HCO_3^-	-0.57	-0.57	-0.12	-0.58	-0.57	-0.50	1.00	0.22	-0.54
SO_4^{2-}	-0.14	-0.14	0.05	-0.17	-0.14	-0.19	0.22	1.00	-0.10
C.E.	0.98	0.98	0.29	0.89	0.98	0.78	-0.54	-0.10	1.00

Tabela 13- Matriz de Correlação relativa aos dados do período seco no açude Gavião. Os valores de r estatisticamente significativos ($p < 0,05$) aparecem em negrito.

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C.E.
Na ⁺	1.00	0.99	0.81	0.03	1.00	0.73	-0.79	0.10	0.68
K ⁺	0.99	1.00	0.81	-0.01	0.99	0.70	-0.75	0.15	0.69
Mg ²⁺	0.81	0.81	1.00	-0.26	0.81	0.82	-0.67	-0.02	0.72
Ca ²⁺	0.03	-0.01	-0.26	1.00	0.03	-0.03	-0.26	-0.31	-0.01
Cl ⁻	1.00	0.99	0.81	0.03	1.00	0.72	-0.79	0.10	0.68
CO ₃ ²⁻	0.73	0.70	0.82	-0.03	0.72	1.00	-0.76	-0.29	0.54
HCO ₃ ⁻	-0.79	-0.75	-0.67	-0.26	-0.79	-0.76	1.00	0.36	-0.50
SO ₄ ²⁻	0.10	0.15	-0.02	-0.31	0.10	-0.29	0.36	1.00	0.17
C.E.	0.68	0.69	0.72	-0.01	0.68	0.54	-0.50	0.17	1.00

Ao contrário, os íons Ca²⁺ e SO₄²⁻, além de apresentarem fraca correlação com a C.E., correlacionaram-se inversamente entre si.

Da mesma forma que para o período seco, os íons Cl⁻ e Na⁺ apresentaram forte correlação com a C.E. durante o período chuvoso nos dois açudes, enquanto que os íons Mg²⁺ e CO₃²⁻, ao contrário, apresentaram menor associação com a C.E.

Tabela 14- Matriz de Correlação relativa aos dados do período chuvoso no açude Pacajus. Os valores de r estatisticamente significativos ($p < 0,05$) aparecem em negrito.

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C.E.
Na ⁺	1.00	1.00	-0.00	0.56	1.00	0.27	0.46	0.39	0.97
K ⁺	1.00	1.00	-0.00	0.56	1.00	0.27	0.46	0.39	0.97
Ca ²⁺	-0.00	-0.00	1.00	-0.79	-0.00	-0.55	0.37	0.26	0.02
Mg ²⁺	0.56	0.56	-0.79	1.00	0.56	0.62	-0.03	-0.01	0.54
Cl ⁻	1.00	1.00	-0.00	0.56	1.00	0.27	0.46	0.39	0.97
CO ₃ ²⁻	0.27	0.27	-0.55	0.62	0.27	1.00	-0.24	-0.15	0.25
HCO ₃ ⁻	0.46	0.46	0.37	-0.03	0.46	-0.24	1.00	0.20	0.53
SO ₄ ²⁻	0.39	0.39	0.26	-0.01	0.39	-0.15	0.20	1.00	0.35
C.E.	0.97	0.97	0.02	0.54	0.97	0.25	0.53	0.35	1.00

Durante o período chuvoso, os íons Ca²⁺ apresentaram correlações inversas significativas com os íons CO₃²⁻ (r: -0,55), no açude Pacajus, e SO₄²⁻ (r: -0,73), no açude Gavião.

Tabela 15- Matriz de Correlação relativa aos dados do período chuvoso no açude Gavião. Os valores de r estatisticamente significativos ($p < 0,05$) aparecem em negrito.

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C.E.
Na ⁺	1.00	0.97	0.53	0.42	1.00	0.21	0.37	-0.28	0.45
K ⁺	0.97	1.00	0.42	0.52	0.97	0.23	0.34	-0.30	0.43
Mg ²⁺	0.53	0.42	1.00	-0.48	0.53	-0.44	0.69	0.34	0.58
Ca ²⁺	0.42	0.52	-0.48	1.00	0.42	0.66	-0.29	-0.73	-0.09
Cl ⁻	1.00	0.97	0.53	0.42	1.00	0.21	0.38	-0.28	0.45
CO ₃ ²⁻	0.21	0.23	-0.44	0.66	0.21	1.00	-0.75	-0.77	-0.24
HCO ₃ ⁻	0.37	0.34	0.69	-0.29	0.38	-0.75	1.00	0.52	0.41
SO ₄ ²⁻	-0.28	-0.30	0.34	-0.73	-0.28	-0.77	0.52	1.00	0.03
C.E.	0.45	0.43	0.58	-0.09	0.45	-0.24	0.41	0.03	1.00

7.6. pH e Oxigênio Dissolvido (OD)

De modo geral, as concentrações de OD foram superiores no açude Gavião, com as maiores medianas correspondentes aos meses de jun., set. e out./1999, da mesma forma como observado para o Pacajus. As menores medianas, nos dois reservatórios, corresponderam aos meses de fev. e abr./1999, inseridos no período chuvoso, quando também foram observados os valores mínimos de OD durante o período de estudo (Figura 60).

Figura 60- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de OD entre Dez./1998 e Nov./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

Durante os meses do período chuvoso a coluna d'água do açude Pacajus apresentou-se subsaturada em OD, inclusive na zona trofogênica (Figura 61 e Figura 62). As menores concentrações durante essa época do ano foram observadas na região sob influência direta dos aportes do rio barrado, correspondente à zona superior do reservatório, representada pelo PJ06.

A região intermediária do açude apresentou concentrações de OD típicas de anoxia. Em abr. e jun./1999, os perfis verticais de OD referentes ao ponto PJ04 mostraram gradientes verticais significativos no estrato inferior da coluna d'água ($2,60 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $5,95 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, respectivamente), dando origem a oxiclina bem definidas (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Figura 61- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em fev./1999.

Figura 62- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em abr./1999.

Figura 63- Perfis verticais de OD, pH e temperatura correspondentes ao ponto PJ04 em abr. e jun./1999.

Essa região do açude Pacajus não foi desmatada anteriormente à fase de enchimento, constituindo-se, portanto, em uma zona ecologicamente diferenciada, caracterizada pela presença de vegetação arbustiva de porte médio e troncos de *Copernicia prunifera* que emergem mais ou menos completamente.

Acompanhando os déficits de OD, a região intermediária do reservatório apresentou as maiores concentrações de CO_2 livre, especialmente a partir do terço inferior da coluna d'água em fev. e abr./1999 (Figura 64 e Figura 65).

Figura 64- Concentrações de CO_2 (mg.L^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em fev./1999.

Figura 65- Concentrações de CO_2 (mg.L^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em abr./1999.

A região lacustre do açude Pacajus, representada pelo ponto PJ03, apresentou gradientes de OD mais suaves em comparação com o ponto PJ04, comportamento observado durante todo o período de estudo (

Figura 66).

Figura 66 - Perfis verticais de OD, pH e temperatura correspondentes ao ponto PJ03 em abr., jun., ago. e nov./1999.

Figura 67- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em fev./1999.

Figura 68- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em abr./1999.

Figura 69- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em jun./1999.

Figura 70- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em jun./1999.

Durante a maior parte do segundo semestre as águas dos dois reservatórios apresentaram-se supersaturadas em OD, como demonstraram as isolinhas correspondentes aos meses de set. e out./1999 para o açude Gavião (Figura 71 e Figura 72). Nesse período também foram registradas as maiores velocidades médias do vento (Figura 73).

Figura 71- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em set./1999.

Figura 72- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em out./1999.

Figura 73- Médias mensais ($\pm$ desvio padrão) e valores mínimos e máximos de velocidade do vento entre nov./1998 e dez./1999.

Assim como para o OD, as maiores medianas de pH foram observadas no açude Gavião, particularmente em jun., set. e out./1999 (Figura 74).

Durante todo o período de estudo, nos dois açudes, os valores de pH situaram-se na faixa neutro-alkalina.

Figura 74- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de pH entre Dez./1998 e Dez./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

Os gradientes verticais de pH foram menos pronunciados que os correspondentes de OD nos dois reservatórios, inclusive na região intermediária do açude Pacajus, onde foram observados gradientes de OD significativos.

As isolinhas de OD e pH apresentaram arranjos semelhantes na maior parte dos meses amostrados, ratificando estreita correlação entre essas variáveis. A semelhança entre os arranjos das isolinhas de OD e pH foi especialmente evidente em ago./1999 no açude Pacajus, quando ficou claro o destacamento de uma zona com déficit de OD e menores valores de pH na região não-desmatada do reservatório (Figura 75 e Figura 76).

Figura 75- % de Saturação de OD longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus em ago./1999.

Figura 76- Distribuição do pH ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em ago./1999.

7.7. Nutrientes

7.7.1. Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID) e Fósforo Total (PT)

As menores medianas de fósforo inorgânico dissolvido (PID) foram registradas em dez./1998, mês representativo do final do período seco (Figura 77). Neste mês, nos dois reservatórios, as concentrações estiveram, na sua maioria, abaixo do limite de quantificação do método analítico ($< 0,04 \mu\text{molPO}_4^{3-}$). Em fev./1999 e abr./1999, meses representativos do período chuvoso, houve um aumento nas concentrações de PID, resultando em medianas superiores a dez./1998. A concentração máxima durante o período de estudo foi registrada no açude Pacajus, no ponto PJ06 ($3,3 \mu\text{molPO}_4^{3-} \cdot \text{P.L}^{-1}$) – localizado na região de influência direta dos pulsos do Rio Choró - em fev./1999.

No entanto, as maiores medianas corresponderam ao mês de ago./1999: $0,57$ e $0,73 \mu\text{molPO}_4^{3-} \cdot \text{P.L}^{-1}$ nos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente.

Figura 77- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de PID entre Dez./1998 e Nov./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

Durante o período de aporte, particularmente no açude Pacajus, as maiores concentrações de PID foram observadas nos pontos localizados nas regiões fluvial e intermediária. A Figura 78 mostra o decréscimo das concentrações e a suavização dos gradientes longitudinais no sentido Rio Choró-barragem em fev./1999, denotada pelo maior afastamento das isolinhas na direção da região lacustre do reservatório.

Figura 78- Distribuição do PID ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em fev./1999.

De modo geral, as menores concentrações de PID foram registradas nas camadas superficiais da coluna d'água.

Em ago./1999 (Figura 79 e Figura 80), nos dois reservatórios, as maiores concentrações de PID foram observadas junto ao fundo da coluna d'água, condição observada até mesmo nas regiões lacustres, caracterizadas morfometricamente pela maior $z_{\text{méd}}$. Neste mês, além da isotermia da coluna d'água, foi observada queda nas concentrações de OD, resultando em mediana inferior a jun./1999 (jun./1999: $9,4 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$; ago./1999: $5,8 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$), quando foram observadas concentrações de supersaturação além dos limites da z_{eu} em todo o reservatório.

Outra característica dessa época do ano foi a ausência de aportes dos respectivos rios barrados, ficando as contribuições restritas às transposições. No caso do açude Pacajus, o aporte durante o segundo semestre deveu-se exclusivamente às águas da Bacia do Rio Jaguaribe, via Canal do Trabalhador, enquanto que as águas afluentes ao açude Gavião foram provenientes do subsistema Pacoti-Riachão via Canal Richão-Gavião. No entanto, vale salientar que nos dois casos, as águas afluentes de transposição possuíam menor força iônica e turbidez que as águas residentes.

Figura 79- Variação temporal do PID ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do perfil vertical correspondente ao ponto PJ03 (proximidades da barragem) entre Dez./1998 e Nov./1999.

Figura 80- Variação temporal do PID ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do perfil vertical correspondente ao ponto GA05 (proximidades da barragem) entre Dez./1998 e Nov./1999.

Com relação ao fósforo total (PT), as concentrações máximas durante o período de estudo foram observadas em fev./1999 (Tabela 16). No açude Pacajus, as maiores concentrações foram registradas na região intermediária, mesmo comportamento observado em abr./1999, mês também inserido no período chuvoso (Figura 81 e Figura 82).

Tabela 16- Médias, medianas, valores mínimos e máximos de PT ($\mu\text{mol.PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) nos açudes Gavião e Pacajus.

Período	Gavião				Pacajus			
	méd.	medn.	mín.	máx.	méd.	medn.	mín.	máx.
dez/1998	10.40	6.64	1.64	37.03	18.51	19.42	2.39	56.45
fev./1999	25.49	4.31	0.36	100.33	39.94	24.07	2.16	105.85
abr./1999	0.91	0.85	0.48	1.35	8.67	2.75	0.42	49.18
jun./1999	7.56	5.23	1.80	19.93	5.53	2.49	1.10	26.09
ago./1999	7.38	5.92	4.00	12.14	9.17	1.85	0.23	70.09
nov./1999	5.80	4.35	1.21	15.51	4.87	4.24	1.21	15.51

Figura 81- Distribuição do PT ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em fev./1999.

Ao contrário, as máximas de PT no açude Gavião nesta época foram observadas nas regiões fluvial e lacustre (Figura 83).

Figura 82- Distribuição do PT ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em abr./1999.

Figura 83- Distribuição do PT ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}\text{-P.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Gavião em fev./1999.

Nos dois reservatórios, considerando os dados conjuntos das épocas seca e chuvosa, o PT apresentou correlação positiva significativa com a clorofila *a* ($p < 0,05$), como mostram as curvas de regressão linear e os respectivos coeficientes de correlação de Pearson (Figura 84 e Figura 85). No entanto, apesar da correlação significativa nos dois reservatórios, a concentração de PT explicou apenas cerca de 30% da variação da biomassa algal no açude Gavião ($r^2 \cong 0,30$), enquanto que no açude Pacajus a explicação da variabilidade foi de aproximadamente 65,0%.

Figura 84- Curva de regressão linear entre Log PT e Log Clor.*a* referente ao total de dados coletados no açude Pacajus, após eliminação de *outliers*.

Figura 85- Curva de regressão linear entre Log PT e Log Clor.*a* referente ao total de dados coletados no açude Gavião, após eliminação de *outliers*.

7.7.2. Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) – Nitrogênio Amoniacal, Nitrato e Nitrito

O nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_{3,4}$) apresentou elevadas concentrações durante todo o período de estudo, constituindo-se na principal fração do NID nas águas dos açudes Pacajus e Gavião. Nos dois reservatórios, as maiores medianas foram observadas em nov./1999: 30,9 e 47,9 $\mu\text{molNH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$ para os açudes Pacajus e Gavião, respectivamente.

No açude Gavião, houve um aumento nas concentrações médias em fev./1999 e abr./1999 em relação ao período seco imediatamente anterior (dez./1998) (Tabela 17). No Pacajus, não foi observado um comportamento sazonal bem definido, sendo as maiores medianas referentes a fev., jun. e nov./1999.

Tabela 17- Médias, medianas, valores mínimos e máximos de $\text{NH}_{3,4}$ ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) nos açudes Gavião e Pacajus.

Período	Gavião				Pacajus			
	méd.	medn.	mín.	máx.	méd.	medn.	mín.	máx.
dez/1998	6.71	5.94	4.09	12.19	16.19	12.57	4.86	56.55
fev./1999	24.39	24.15	19.13	33.79	14.29	13.73	9.10	25.69
abr./1999	10.51	9.49	4.09	17.97	13.40	12.96	9.87	21.06
jun./1999	19.15	20.91	10.88	24.76	23.87	21.68	10.11	49.45
ago./1999	29.61	29.39	5.48	51.76	9.04	5.48	3.16	23.22
nov./1999	48.24	47.91	43.28	57.93	32.89	30.93	20.13	86.48

No açude Pacajus, da mesma forma que para o PID, as maiores concentrações durante o período chuvoso foram registradas na zona fluvial, região sob influência direta das águas afluentes do Rio Choró, dando origem a gradientes longitudinais entre as regiões fluvial e lacustre, embora suavizados em direção a esta última (Figura 86 e Figura 87).

Figura 86- Distribuição do Nitrogênio Amoniacal ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em fev./1999.

Figura 87- Distribuição do Nitrogênio Amomiacal ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em abr./1999.

As concentrações máximas nesta época do ano foram registradas no ponto PJ06: 25,1 e 25,7 $\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$ em fev. e abr./1999, respectivamente.

No açude Gavião foi observada uma região de concentração intermediária, localizada entre as regiões fluvial e lacustre (Figura 88). Esta região, de menor força iônica e maior extensão da z_{eu} , também foi destacada quando da análise da distribuição espacial de outras variáveis.

Figura 88- Distribuição do Nitrogênio Amomiacal ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Gavião em fev./1999.

Em ago./1999, da mesma forma como para o PID, as maiores concentrações de $\text{NH}_{3,4}$ foram observadas nas camadas inferiores da coluna d'água. No açude Pacajus, esta situação foi particularmente observada na região intermediária, caracterizada pela presença de vegetação remanescente parcialmente submersa (Figura 89). Esta região do reservatório apresentou-se, durante praticamente todo o ano, subsaturada em OD, com concentrações

típicas de anoxia a partir do seu terço inferior. Em ago./1999, a coluna d'água referente ao ponto PJ04 apresentou fortes déficits de OD, inclusive na região da z_{eu} .

Figura 89- Distribuição do Nitrogênio Amônia ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em ago./1999.

No açude Gavião, situação semelhante foi observada no ponto GA05 (Figura 90), localizado nas proximidades do barramento, onde foram registradas elevadas concentrações de $\text{NH}_{3,4}$ junto ao fundo da coluna d'água em ago./1999, mesmo comportamento observado para o PID. No entanto, apesar de nessa época do ano as concentrações de OD terem sido típicas de subsaturação em todo o reservatório, não foram observadas regiões anóxicas. Também em ago./1999, nesta mesma região do reservatório, o compartimento inferior da coluna d'água apresentou maiores valores de C.E. e turbidez em relação às camadas adjacentes.

Figura 90- Distribuição do Nitrogênio Amônia ($\mu\text{mol NH}_{3,4}\text{-N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Gavião em ago./1999.

O nitrato (NO_3^-) apresentou comportamento sazonal semelhante ao PID (Figura 91), com aumento das medianas nos meses correspondentes ao período chuvoso, particularmente em fev./1999 (Tabela 18). Em abr./1999, apesar da mediana inferior a fev./1999, as concentrações foram superiores às do período seco anterior (dez./1998), quando os níveis de NO_3^- ficaram, na sua maioria, abaixo do limite de detecção do método analítico ($<0,09 \mu\text{mol NO}_3^- \cdot \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$), mesmo comportamento observado em jun. e ago./1999.

Tabela 18- Médias, medianas, valores mínimos e máximos de $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) nos açudes Gavião e Pacajus.

Período	Gavião				Pacajus			
	méd.	medn.	mín.	máx.	méd.	medn.	mín.	máx.
dez/1998	0.38	0.31	0.09	1.17	1.23	0.09	0.09	5.84
fev./1999	7.02	6.98	5.69	8.86	5.42	4.63	3.34	10.03
abr./1999	1.77	1.82	1.32	2.44	2.65	2.50	2.07	3.92
jun./1999	0.10	0.09	0.09	0.28	0.18	0.09	0.09	0.95
ago./1999	0.09	0.09	0.09	0.09	0.82	0.09	0.09	2.38
nov./1999	0.13	0.09	0.06	0.38	6.86	7.81	1.34	11.21

Figura 91- Distribuição dos íons NO_3^- ($\mu\text{mol NO}_3^- \cdot \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Pacajus em abr./1999.

Comportamento similar foi observado em fev./1999 no açude Gavião (Figura 92), quando as maiores concentrações foram observadas na região sob influência direta do Rio Cocó, com gradientes longitudinais suavizados em direção à barragem.

Figura 92- Distribuição dos íons NO_3^- ($\mu\text{mol NO}_3^- \cdot \text{N.L}^{-1}$) ao longo do eixo longitudinal do açude Gavião em fev./1999.

7.8. Clorofila *a* e Transparência Secchi (z_{DS})

As maiores concentrações de clorofila *a* foram observadas no açude Pacajus, com o mês de dez./1998 apresentando a maior mediana ($39,4 \mu\text{g.L}^{-1}$) e valor máximo durante o período de estudo: $256,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 19). Este valor, registrado no ponto PJ06, localizado na região fluvial do açude, esteve associado a valores de supersaturação em OD e elevados valores de pH e turbidez.

Neste reservatório, houve queda na biomassa algal em fev. e abr/1999 (meses correspondentes ao período chuvoso) em relação ao período seco anterior (dez./1998), ao contrário do observado no açude Gavião, onde as medianas de fev. e abr./1999 não diferiram significativamente daquela de dez./1998. Em fev./1999 foram observados os valores mínimos de clorofila *a* nos dois reservatórios (Gavião: $2,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ e Pacajus: $4,1 \mu\text{g.L}^{-1}$).

No entanto, apesar da queda nas concentrações de clorofila *a* durante o período chuvoso, as menores medianas foram observadas em jun. ($12,2 \mu\text{g.L}^{-1}$) e ago./1999 ($13,9 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente. Nos dois reservatórios houve tendência de aumento nas concentrações de clorofila *a* ao longo do segundo semestre.

Tabela 19- Medianas, médias, valores e máximos de Clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nos açudes Gavião e Pacajus.

Período	Gavião				Pacajus			
	méd.	medn.	mín.	máx.	méd.	medn.	mín.	máx.
dez/1998	15.7	12.5	8.0	27.6	70.5	39.4	5.8	256.3
fev./1999	12.7	12.5	2.7	23.6	23.8	24.3	4.1	40.1
abr./1999	13.0	13.7	6.9	17.4	19.6	17.1	4.2	41.0
jun./1999	18.3	19.2	12.8	24.8	14.8	12.2	7.1	28.3
ago./1999	13.6	13.9	13.0	13.9	15.7	17.9	6.7	20.8
nov./1999	28.6	32.5	10.6	42.7	19.9	16.5	7.7	44.9

Especialmente, as menores concentrações de clorofila *a* no açude Pacajus foram observadas nos pontos PJ01 e PJ02 - localizados no canal artificial do reservatório - dando origem às menores medianas durante o período de estudo (Figura 93).

No período seco, a maior biomassa algal foi observada no ponto PJ06, localizado na região fluvial do reservatório, o qual apresentou a maior mediana dentre os amostrados ao longo do eixo Rio Choró-barragem, seguido do ponto PJ03, localizado nas proximidades da barragem. Durante o período chuvoso, a maior mediana correspondeu ao ponto PJ04, localizado na região intermediária do reservatório (Figura 94). Vale destacar que essa região

do reservatório apresentou as menores flutuações na concentração de clorofila *a* ao longo da pesquisa.

Figura 93- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos de Clorofila *a* nos pontos amostrados no Pacajus durante os períodos (a) seco e (b) chuvoso.

No açude Gavião, as maiores medianas durante o período de estudo corresponderam ao ponto GA05, localizado a 100 m do barramento, seguido do ponto GA04 (região central), responsável pelo valor máximo observado nas águas do reservatório: $42,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ (nov./1999). O ponto GA02, localizado na região receptora das águas do subsistema Pacoti-Riachão através do Canal Riachão-Gavião, apresentou a menor biomassa algal dentre os amostrados, comportamento similar ao observado para outras variáveis, as quais apresentaram menor magnitude nessa região do reservatório.

Figura 94- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos de Clorofila *a* nos pontos amostrados no açude Gavião durante os períodos (a) seco e (b) chuvoso.

A análise de regressão linear entre os dados log transformados de clorofila *a* e turbidez mostraram contribuição significativa da biomassa algal para os valores de turbidez nas águas dos reservatórios (Figura 95 e Figura 96).

Figura 95- Curva de regressão linear entre Log Clor.*a* e Log Turb. referente ao total de dados coletados no açude Pacajus, após eliminação de *outliers*.

Figura 96- Curva de regressão linear entre Log Clor.*a* e Log Turb. referente ao total de dados coletados no açude Gavião, após eliminação de *outliers*.

Utilizando-se a concentração de clorofila *a* como critério de classificação, de acordo com o IET adaptado proposto por TOLEDO *et al.* (1983 apud ZAGATTO *et al.*, 1999) e

TOLEDO (1990 apud ZAGATTO *et al.*, 1999), os pontos amostrados nos açudes Gavião e Pacajus foram classificados, na sua maioria, como eutróficos (Figura 97 e Figura 98).

No açude Pacajus, apenas o ponto PJ01, localizado no final do canal artificial do reservatório, permaneceu mesotrófico durante o período de estudo. Os demais pontos amostrados, especialmente os localizados ao longo do eixo longitudinal Rio Choró-barragem, apresentaram-se eutróficos com tendência a hipereutrofia, como foi o caso dos pontos PJ03 (barragem), PJ04 (região intermediária) e PJ06 (região fluvial).

No açude Gavião, o ponto GA02, localizado na região de influência direta das águas afluentes do subsistema Pacoti-Riachão, apresentou a maior alternância de estado trófico dentre os amostrados, sendo classificado como oligotrófico em fev./1999, mesotrófico em abr./1999 e eutrófico nos demais meses amostrados. Os pontos GA04, localizado na região central, e GA05, localizado nas proximidades da barragem do reservatório, apresentaram estado trófico superior durante todo o período de estudo; mesmo comportamento observado para os pontos GA01 (região fluvial) e GA03 (corpo central).

Figura 97- Estado trófico dos pontos amostrados no açude Pacajus baseado no IET adaptado proposto por TOLETO *et al.* (1983) e TOLEDO (1990).

Figura 98- Estado trófico dos pontos amostrados no açude Gavião baseado no IET adaptado proposto por TOLETO *et al.* (1983) e TOLEDO (1990).

A variação espacial da z_{DS} seguiu um comportamento aproximadamente inverso ao da biomassa algal nos dois reservatórios (Figura 99). No entanto, enquanto no Gavião os valores foram decrescentes em direção à barragem, no açude Pacajus houve aumento da z_{SD} no sentido região fluvial-região lacustre.

Figura 99- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de z_{SD} nos pontos amostrados nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus entre Dez./1998 e Nov./1999

A análise de regressão linear entre os dados log transformados de clorofila a e z_{SD} confirmou essa tendência, dando origem a correlações inversas entre as variáveis (Figura 100 e Figura 101).

Sazonalmente, as medianas de z_{DS} tiveram pequena variabilidade no açude Pacajus, com os valores mínimos sendo observados em dez./1998 (final do período seco), fev./1999 (início dos aportes) e ago./1999 (período de maior instabilidade física da coluna d'água) (

Figura 102). No açude Gavião, de modo geral, a coluna d'água apresentou maior transparência. Nesse reservatório, as menores medianas corresponderam aos meses de fev./1999 e jun./1999. Em jun./1999, mês caracterizado pela isoterмия da coluna d'água, foram observados os valores mínimos de z_{DS} durante o período de estudo.

Figura 100- Curva de regressão linear entre Log Clor.a e Log z_{SD} referente ao total de dados coletados no açude Pacajus, após eliminação de *outliers*.

Figura 101- Curva de regressão linear entre Log Clor. a e Log z_{SD} referente ao total de dados coletados no açude Gavião, após eliminação de *outliers*.

Figura 102- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de z_{SD} entre Dez./1998 e Nov./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

7.9. Heterogeneidade Espacial

A heterogeneidade espacial dos açudes Pacajus e Gavião, bem como as mudanças nas configurações espaciais entre os períodos seco e chuvoso, foram investigadas através de análise de agrupamento do tipo Cluster como posterior Análise Discriminante Múltipla (ADM).

Os resultados da Análise de Cluster (método UPGMA) referentes aos dados do período seco no açude Pacajus destacaram três agrupamentos ao longo do eixo longitudinal principal: PJ06, PJ05-PJ04 e PJ03; representativos das regiões fluvial, intermediária e lacustre, respectivamente.

Os pontos localizados no canal artificial do reservatório (PJ01-PJ02) permaneceram agrupados e apresentaram maior similaridade com o ponto PJ03, localizado nas proximidades da barragem do reservatório (Figura 103).

Com o aporte das águas do rio barrado (Rio Choró) durante o período de precipitação, houve uma mudança na configuração longitudinal do sistema, com expansão da zona fluvial (PJ05-PJ06) e maior similaridade entre os pontos PJ03 e PJ02 (Figura 104).

Figura 103- Dendrograma resultante da Análise de Agrupamento (UPGMA) para o açude Pacajus, considerando os dados relativos ao período seco.

Figura 104- Dendrograma resultante da Análise de Agrupamento (UPGMA) para o açude Pacajus, considerando os dados relativos ao período chuvoso.

Os resultados da Análise Discriminante Múltipla (ADM) para os dados correspondentes ao período seco no açude Pacajus mostraram que as variáveis com maior poder discriminatório entre os pontos localizados ao longo do eixo principal (PJ03-PJ06) reservatório foram, em ordem hierárquica decrescente, z_{DS} (Λ : 0,119; Figura 105), Alcalinidade Total (Λ : 0,123), $NH_{3,4}$ (Λ : 0,182) e PT (Λ : 0,310).

Nessa época do ano, o ponto PJ04 apresentou a menor biomassa algal dentre os amostrados ao longo do eixo principal do reservatório.

A Análise Canônica para os dados correspondentes ao período seco retornou duas funções discriminatórias estatisticamente significativas, responsáveis pela explicação de 95,03% da variabilidade total dos dados.

Figura 105- Variação espacial da z_{DS} (m) na direção rio-barragem (PJ06→PJ03) e no canal artificial do açude Pacajus (PJ01-PJ02) durante o período seco.

A Figura 106 mostra as contribuições das funções canônicas para a diferenciação entre os pontos ao longo do eixo principal do açude Pacajus durante o período seco. A Raiz I, responsável pelo maior poder discriminatório entre os grupos (59,91%), diferenciou, em especial, o ponto PJ06 dos demais. Esse ponto, localizado na região fluvial do reservatório, apresentou a maior biomassa algal, concomitantemente aos menores valores de z_{DS} dentre os amostrados. A Raiz I também contribuiu para a diferenciação do ponto PJ03, o qual, apesar da significativa biomassa algal, apresentou maior extensão da z_{eu} e menores concentrações de PT e $NH_{3,4}$ em comparação com o PJ06. Os pontos PJ04 e PJ05, localizados na região de transição do reservatório, apresentaram características limnológicas intermediárias entre as regiões fluvial e lacustre.

Figura 106- Diagrama resultante da Análise Canônica mostrando a contribuição das funções discriminantes estatisticamente significativas (Raízes I e II) para a diferenciação entre os pontos localizados ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus (Rio Choró-barragem) durante o período seco.

A Análise Discriminante Múltipla (ADM) para os dados relativos ao período chuvoso no açude Pacajus atribuiu à variável C.E. o maior poder discriminatório (Λ : 0,037; Figura 107) entre os grupos formados ao longo do eixo longitudinal principal do reservatório (PJ03, PJ04, PJ05-PJ06), seguida de $\text{NH}_{3,4}$ (Λ : 0,241), NO_3^- (Λ : 0,282) e PT (Λ : 0,430), respectivamente.

A Análise Canônica para os dados correspondentes ao período chuvoso retornou duas funções discriminatórias (raízes canônicas) estatisticamente significativas, responsáveis pela explicação de cerca de 99,9% da variabilidade total dos dados.

Figura 107- Variação espacial da C.E. ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) na direção rio-barragem (PJ06→PJ03) e no canal artificial do açude Pacajus (PJ01-PJ02) durante o período chuvoso.

A Figura 108 mostra as contribuições das funções canônicas para a diferenciação entre os pontos ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus durante o período chuvoso. A Raiz I, responsável pelo maior poder discriminante entre os grupos (93,75%), diferenciou os pontos PJ05 e PJ06 - caracterizados pelos elevados valores de C.E. e concentração de nutrientes, além da menor extensão da z_{eu} - dos demais, enquanto que a Raiz II (6,11%) pareceu distinguir, em especial, o ponto PJ03, localizado na região lacustre do reservatório. Esse ponto, mais protegido dos efeitos dos pulsos durante a época de aporte, foi caracterizado pelos menos menores valores de C.E. e turbidez em relação aos pontos PJ05 e PJ06.

Figura 108- Diagrama resultante da Análise Canônica mostrando a contribuição das funções discriminantes estatisticamente significativas (Raízes I e II) para a diferenciação entre os pontos localizados ao longo do eixo longitudinal principal do açude Pacajus (Rio Choró-barragem) durante o período chuvoso.

A análise de Cluster para o açude Gavião também resultou em dendogramas com arranjos diferenciados para os períodos seco e chuvoso, refletindo diferentes configurações ecológicas. No entanto, os gradientes longitudinais para este reservatório foram menos marcados em relação aos observados no açude Pacajus.

O dendograma relativo ao período seco revelou dois agrupamentos principais: GA02-GA03 e GA04-GA05, com o ponto GA01 (região fluvial), embora desagrupado, apresentando maior similaridade com o cluster GA04-GA05, localizado na região lacustre do reservatório (Figura 109).

Figura 109- Dendrograma resultante da Análise de Agrupamento (UPGMA) para o açude Gavião, considerando os dados relativos ao período seco.

A ADM relativos aos dados do período seco mostrou que o pH exerceu maior poder discriminante (Λ : 0,446) entre os clusters GA02-GA03 e GA04-GA05, seguido da turbidez (Λ : 0,578) e z_{DS} (Λ : 0,699).

A região intermediária, representada pelo cluster GA02-GA03, apresentou os menores valores de pH e turbidez (Figura 110) durante o período seco, contrastando com a região fluvial (GA01) e o corpo principal do reservatório, em especial com o ponto GA05, localizado nas proximidades da barragem. Nesses pontos (GA01 e GA05), foram registrados elevados valores de pH, concentrações de super- ou saturação de OD e biomassa algal superior aos demais pontos amostrados. A região intermediária, com menores valores de pH e OD, representada pelo *cluster* GA02-GA03, pode ser visualizada pelo exame das Figura 111 e Figura 112, referentes ao mês de out./1999.

Figura 110- Variação espacial da Turbidez (UNT) na direção rio-barragem (GA01→GA05) do açude Gavião durante o período seco.

Figura 111- Distribuição do pH ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em out./1999.

Figura 112- Distribuição do OD (mg.L^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em out./1999.

Durante o período chuvoso, quando além da contribuição do subsistema Pacoti-Riachão, o açude Gavião recebe as águas do Rio Cocó, o arranjo do dendrograma resultante revelou maior diferenciação entre GA01 e GA02 – pontos sob influência direta dos aportes provenientes do rio barrado e do subsistema Pacoti-Riachão, respectivamente. Apesar da proximidade física, as duas regiões sob influência dos afluentes principais do reservatório apresentaram características limnológicas bastante diferenciadas, especialmente quanto à força iônica, qualidade óptica e biomassa algal. Outra particularidade ressaltada pelo arranjo do dendrograma relativo ao período chuvoso foi a maior similaridade entre o ponto GA03, localizado na região intermediária, e o *cluster* GA04-GA05 (Figura 113).

Figura 113- Dendograma resultante da Análise de Agrupamento (UPGMA) para o açude Gavião, considerando os dados relativos ao período chuvoso.

A ADM para os dados correspondentes ao período chuvoso revelou que as variáveis com maior poder discriminatório entre os *clusters* formados foram, em ordem hierárquica decrescente: OD (Λ : 0,249), z_{DS} (Λ : 0,354), pH (Λ : 0,510) e C.E. (Λ : 0,639).

Da mesma forma como observado para o período seco, observou-se uma região intermediária, correspondente ao ponto GA02, caracterizada pela menor força iônica (Figura 114) e maior z_{DS} .

A Análise Canônica para os dados correspondentes ao período chuvoso retornou duas funções discriminatórias estatisticamente significativas, responsáveis pela explicação de cerca de 96,0% da variabilidade total dos dados.

A Figura 115 mostra as contribuições das funções canônicas para a diferenciação entre os pontos amostrados no açude Gavião.

A Raiz I, responsável pelo maior poder discriminante entre os grupos (69,43%), diferenciou principalmente o ponto GA01 dos demais. Esse ponto, localizado na região fluvial do reservatório, logo após uma área alagada, apresentou, mesmo durante o período chuvoso, concentrações de OD típicas de saturação ou supersaturação, além de concentrações de clorofila *a* elevadas e pouco variáveis ao longo do período de estudo.

Figura 114- Variação espacial da C.E. (mS.cm⁻¹) na direção rio-barragem (GA01→GA05) do açude Gavião durante o período chuvoso.

A Raiz II discriminou os pontos localizados na região intermediária e lacustre do reservatório, caracterizados principalmente pela maior extensão da z_{eu} , a qual permaneceu pouco variável durante o período de estudo.

7.10. Comunidade Zooplancônica

A investigação preliminar da estrutura das comunidades zooplancônicas dos açudes Pacajus e Gavião revelou um total de 32 taxa: 6 espécies de Copepoda, 7 de Cladocera e 19 de Rotifera. No açude Pacajus, foram registradas 27 espécies, sendo 25 no período seco (dez./1998) e 24 no período chuvoso (jun./1999). No açude Gavião, apesar da similaridade em relação à riqueza de espécies (26), houve diferença significativa entre os períodos amostrados, com 10 espécies registradas no período de estiagem e 24 no chuvoso.

Os resultados da investigação preliminar realizada nos açudes Pacajus e Gavião mostraram ausência de endemismo e ocorrência de novas espécies. A menor densidade total durante o período de estudo foi observada no açude Gavião em dez./1998 (15.994 ind./m³), acompanhada de baixa riqueza de espécies (10 espécies) e baixo índice de diversidade (H: 1,13 bits/ind.) (Tabela 20).

Durante o período seco, enquanto o zooplâncton do açude Pacajus foi dominado por organismos do grupo Rotifera (66.707 ind./m³; 63,4%), a comunidade zooplancônica do açude Gavião foi representada principalmente pelos Calanoida (82,2%), com destaque para *Notodiaptomus iheringi* (28,9%) e *Notodiaptomus cearensis* (20,2%), com copepoditos e náuplios de Calanoida apresentando abundâncias relativas de 17,4% e 13,8%, respectivamente. Nessa mesma época, os Cyclopoida apresentaram as menores densidades nos dois reservatórios, sendo representados principalmente por indivíduos imaturos, especialmente náuplios.

Tabela 20- Densidade (ind./m³), abundância relativa (%), riqueza (número de espécies) e diversidade de espécies (bits/ind.) do zooplâncton dos açudes Pacajus e Gavião, em dez./1998 e jun./1999.

Organismos	Pacajus				Gavião			
	dez/98		jun/99		dez/98		jun/99	
	org./m ³	%	Org./m ³	%	org./m ³	%	org./m ³	%
Copepoda-Calanoida (3)								
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i>	0	0	0	0	298	1,9	32	0,03
<i>Notodiaptomus cearensis</i>	2.347	2,2	503	0,4	3.238	20,2	3.403	2,8
<i>Notodiaptomus iheringi</i>	491	0,5	630	0,5	4.624	28,9	2.150	1,8
Copepoditos (Calanoida)	3.101	2,9	2.280	1,8	2.781	17,4	2.938	2,4
Nauplios (Calanoida)	6.175	5,9	7.666	6,1	2.202	13,8	9.637	8,0
Total	12.117,0	11,5	11.080,2	8,8%	13.144,5	82,2	18.162,1	15,0
Copepoda-Cyclopoida (3)								
<i>Mesocyclops longisetus</i>	34	0,03	52	0,04	16	0,1	796	0,7
<i>Thermocyclops decipiens</i>	1.992	1,9	426	0,3	90	0,6	8.109	6,7

<i>Thermocyclops minutus</i>	383	0,4	7.582	6,0	0	0	4,304	3,6
Copepoditos (Cyclopoida)	6.728	6,4	14.080	11,2	178	1,1	12.848	10,6
Nauplios (Cyclopoida)	16.157	15,4	58.198	46,3	1.856	11,6	64.566	53,4
Total	25.296,3	24,0	80.339,8	63,9	2.143,3	13,4	90.625,3	75,0
Cladocera (7)								
<i>Alonella</i> sp	0	0	0	0	0	0	43	0,04
<i>Ceriodaphnia cornuta cornuta</i>	0	0	0	0	23	0,1	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta rigaudi</i>	128	0,1	176	0,1	585	3,7	17	0,01
<i>Daphnia gessneri</i>	0	0	0	0	63	0,4	0	0
<i>Diaphanosoma spinulosum</i>	913	0,9	595	0,5	0	0	13	0,01
<i>Machrotrix flabelligera</i>	0	0	0	0	0	0	450	0,4
<i>Moina micrura</i>	90	0,1	0	0	0	0	0	0
Total	1.132,0	1,1	772,3	0,6	672,9	4,2	524,8	0,4
Rotifera (19)								
<i>Brachionus angularis</i>	1.542	1,5	2.209	1,8	0	0	17	0,01
<i>Brachionus budapestinensis</i>	0	0	2.729	2,2	0	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	13.43	12,8	3.978	3,2	0	0	1.158	1,0
<i>Brachionus caudatus</i>	2	0,003	611	0,5	0	0	0	0
<i>Brachionus falcatus</i>	1.027	1,0	559	0,4	0	0	103	0,09
<i>Brachionus havanaensis</i>	2.861	2,7	4.056	3,2	0	0	4.570	3,8
<i>Brachionus patulus</i>	7	0,1	180	0,1	0	0	105	0,09
<i>Brachionus rubens</i>	747	0,7	413	0,3	0	0	0	0
<i>Brachionus rubens</i>	747	0,7	413	0,3	0	0	0	0
<i>Epiphanes macrourus</i>	406	0,4	899	0,7	0	0	86	0,07
<i>Filinia longiseta</i>	1.754	1,7	997	0,8	0	0	4	0,004
<i>Hexarthra intermedia</i>	3.482	3,3	1.754	1,4	25	0,2	342	0,3
<i>Keratella americana</i>	4.778	4,5	4.167	3,3	0	0	26	0,02
<i>Keratella lenzi</i>	22	0,02	0	0	0	0	0	0
<i>Keratella tropica</i>	28.145	26,7	8.093	6,4	8	0,05	3.699	3,1
<i>Lecane</i> sp1	50	0,05	189	0,2	0	0	114	0,09
<i>Lecane</i> sp2	105	0,1	0	0	0	0	54	0,04
<i>Poliarthra vulgaris</i>	8.174	7,8	2.498	2,0	0	0	1.270	1,1
<i>Testudinella</i> sp	0	0	51	0,04	0	0	9	0,01
Total	66.707,5	63,4	33.491,9	26,6	33,3	0,2	11.562,4	9,6
Total de organismos	105.252,8		125.684,2		15.994,0		120.874,6	
Riqueza	25		24		10		24	
Índice de diversidade (H)	2,06		2,55		1,13		2,18	

Em jun./1998, houve dominância dos Cyclopoida nos dois reservatórios, sendo representados principalmente por náuplios e copepoditos, os quais apresentaram densidades

máximas respectivas de 14.080,4 ind./m³ (Pacajus) e 64.566,6 ind./m³ (Gavião). Nesta época do ano, os Cyclopoida representaram 63,9% e 75,0% do zooplâncton dos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente.

Nas duas amostragens realizadas, os Copepoda foram representados por seis espécies, três de Calanoida (*Notodiaptomus cearensis*, *Notodiaptomus iheringi* e *Argyrodiaptomus azevedoi*) e três de Cyclopoida (*Mesocyclops longisetus*, *Thermocyclops decipiens* e *Thermocyclops minutus*).

Dentre os Calanoida, *N. cearensis* e *N. iheringi* foram os táxons mais abundantes nos dois períodos amostrados, especialmente no açude Gavião em dez./1998, quando representaram, respectivamente, 20,2% e 28,9% do total do zooplâncton do reservatório. Não houve registro de *Argyrodiaptomus azevedoi* no açude Pacajus, embora sua abundância relativa tenha sido pequena no açude Gavião nos dois períodos amostrados (dez./98: 1,9%; jun./1999: 0,02%).

N. cearensis foi a espécie mais abundante dentre os Copepoda no açude Araras (Ceará) em setembro e dezembro de 2005 (FADURPE, 2005; 2006), contribuindo significativamente para o total de organismos zooplanctônicos em algumas estações amostradas.

Dentre os Copepoda-Cyclopoida, *T. decipiens* and *T. minutus* foram as espécies mais abundantes nos dois reservatórios. No açude Gavião, houve maior abundância de *T. decipiens* em dez./1998 e jun./1999, enquanto no Pacajus houve alternância de dominância, com *T. decipiens* dominante no período seco e *T. minutus* no chuvoso. Não houve registro de *T. minutus* no açude Gavião em dez./1998.

Apesar da ocorrência de *T. minutus* em altas densidades durante o período chuvoso, *T. decipiens* foi a espécie mais abundante entre os Copepoda Cyclopoida na quase totalidade das amostras coletadas nos açudes Pacajus e Gavião.

É importante ressaltar que durante os dois períodos amostrados, nos dois reservatórios, os Copepoda foram representados principalmente por indivíduos imaturos.

A coexistência dos gêneros *Thermocyclops* e *Mesocyclops* também foi observada nos açudes Pacajus e Gavião, com *T. decipiens* destacando-se como a espécie mais abundante. Ao contrário, *M. longisetus* ocorreu em baixas densidades durante os dois períodos amostrados.

ARCIFA (1984) e SAMPAIO *et al.* (2002) observaram baixas densidades de *M. longisetus* em reservatórios do Estado de São Paulo.

Como os Cyclopoida foram dominantes nos dois reservatórios no mês de jun./1999, procedeu-se uma ACP considerando os dados conjuntos das variáveis físicas, químicas e densidades das espécies mais abundantes, *T. decipiens* e *T. minutus*, além de náuplios e copepoditos. A análise extraiu três fatores artificiais estatisticamente significativos, os quais explicaram cerca de 72,0% da variabilidade total dos dados. Numa etapa posterior, a análise de ordenação das unidades amostrais dos dois reservatórios separou dois clusters, num gradiente trófico do meso- ao eutrófico (Figura 116).

Todos os pontos do açude Gavião localizaram-se no extremo direito do espectro trófico, seguidos dos pontos PJ04 e PJ05, também classificados como eutróficos; os demais pontos do açude Pacajus foram classificados como mesotróficos. Nesta época do ano, as densidades de *T. decipiens* foram superiores no açude Gavião, especialmente nos pontos GA01 e GA02, localizados nas regiões de influência direta do Rio Cocó e do Canal Riachão-Gavião, respectivamente. A ACP mostrou clara associação entre esta espécie e variáveis indicadoras do estado trófico dos reservatórios, como mostrado pelos planos fatoriais I x II e I x III (Figura 117 e Figura 118).

Figura 116- Ordenação das unidades amostrais dos açudes Pacajus e Gavião no espaço vetorial definido pelos dois primeiros eixos da ACP (57,0%).

Figura 117- Plano fatorial definido pelos dois primeiros eixos da ACP referente a jun./1999, considerando os dados das variáveis físicas, químicas e as densidades de *T. decipiens*, *T. minutus*, náuplios e copepoditos de Cyclopoida nos açudes Pacajus e Gavião.

Figura 118- Plano fatorial definido pelos eixos I e III da ACP referente a jun./1999, considerando os dados das variáveis físicas, químicas e as densidades de *T. decipiens*, *T. minutus*, náuplios e copepoditos de Cyclopoida nos açudes Pacajus e Gavião.

Especialmente, *T. decipiens* foi mais abundante nas regiões fluvial e intermediária dos dois reservatórios. No açude Pacajus, a maior densidade da espécie foi registrada em dez./1998, no ponto PJ06 (3.494,6 ind./m³), enquanto no açude Gavião, as maiores densidades foram observadas em jun./1999, com máximo de 30.115,4 ind./m³ no ponto GA02. Os dois pontos, classificados como hipereutrófico e eutrófico, respectivamente, encontram-se nas zonas mais rasas dos açudes, recebendo influência direta dos respectivos ecossistemas lóticos barrados.

Com exceção do mês de dez./1998 no açude Gavião, houve dominância dos Copepoda-Cyclopoida sobre os Calanoida, com abundância relativa acima de 60,0% nos dois reservatórios durante o período chuvoso. Nessa época do ano, o grupo foi caracterizado pela maior abundância de náuplios, responsáveis por 46,3% e 53,4% do zooplâncton dos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente.

Apesar das maiores densidades dos Calanoida em jun./1999, a análise dos dados não revelou um padrão de distribuição espacial bem definido no açude Pacajus, ao contrário dos Cyclopoida, mais abundantes nas regiões mais produtivas do reservatório. Ao contrário, no açude Gavião, a distribuição espacial dos Calanoida, especialmente de náuplios e copepoditos, seguiu um padrão mais definido, com maiores densidades nas regiões intermediária e lacustre, menos enriquecidas em relação à região fluvial, representada pelos pontos GA01 e GA02. A observação do plano fatorial representado pelos dois primeiros eixos estatisticamente significativos, gerados a partir da análise de ordenação das unidades amostrais do açude Gavião em dez./1988 e jun./1999, evidenciou a ocorrência de gradientes espaciais e sazonais ao longo de um gradiente trófico, com maiores densidades em jun./1999 e na direção rio-barragem, seguindo um padrão inverso ao do estado trófico (Figura 119 e Figura 120).

Figura 119- Plano fatorial definido pelos dois eixos estatisticamente significativos da ACP referente aos dados de dez./1998 e jun./1999, considerando as variáveis físicas, químicas e densidades de *N. cearensis*, *N. iheringi*, náuplios e copepoditos de Calanoida no açude Gavião.

Figura 120- Ordenação das unidades amostrais do açude Gavião no espaço vetorial definido pelos dois primeiros eixos estatisticamente significativos da ACP (76,0%) considerando os dados das variáveis físicas, químicas e densidades de *N. cearensis*, *N. iheringi*, náuplios e copepoditos de Calanoida relativos a dez./1998 e jun./1999.

No açude Gavião, a razão Calanoida/Cyclopoida apresentou um padrão de distribuição longitudinal bem definido em jun./1999 (Figura 121), com os Cyclopoida dominando em todas as estações, especialmente nos pontos GA01 e GA02, localizados nas zonas de influência do Rio Cocó e do Canal Riachão-Gavião, respectivamente. Este padrão de distribuição espacial foi similar àquele observado por NOGUEIRA (2001) no Reservatório Jurumirim (São Paulo), quando os menores valores para a razão Calanoida/Cyclopoida foram observados nas zonas mais produtivas. O mesmo comportamento foi relatado por outros pesquisadores em reservatórios brasileiros (PINTO-COELHO, 1987; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1990; TUNDISI *et al.*, 1991).

Figura 121- Gradiente espacial da razão Calanoida/Cyclopoida no açude Gavião em jun./1999.

No açude Pacajus, os resultados de jun./1999 apresentaram maior similaridade com o descrito acima, com o valor mínimo para a razão Calanoida/Cyclopoida registrada no ponto PJ06 (Figura 122), localizado na região fluvial do reservatório.

Figura 122- Gradiente espacial da razão Calanoida/Cyclopoida no açude Pacajus em jun./1999.

Os Rotifera representaram 63,4% da comunidade zooplânctônica do açude Pacajus em dez./1998, e somente 26,6% em jun./1999. No açude Gavião, esse grupo apresentou abundância relativa inferior, com 0,2% em dez./1998 e 9,6% em jun./1999. Somente duas espécies de Rotifera foram registradas no açude Gavião em dez./1998, ambas com baixa densidade: *Hexarthra intermedia* (25,4 ind./m³) e *Keratella tropica* (7,9 ind./m³).

Dentre os gêneros de Rotifera, *Keratella* e *Brachionus* foram os mais representativos (3 e 8 espécies, respectivamente), com destaque para as espécies *K. tropica*, *K. americana*, *B. calyciflorus*, *B. havanaensis* e *Polyarthra vulgaris*. *K. tropica* e *B. calyciflorus* foram as espécies mais abundantes no açude Pacajus em dez./1998 (28.145,5 ind./m³ e 13.436,6 ind./m³, respectivamente), enquanto que *K. tropica*, *K. americana*, *B. havanaensis* e *B. calyciflorus* foram dominantes em jun./1999. No açude Gavião, os rotíferos representaram somente 0,2% do total do zooplâncton em dez./1998, com ocorrência de apenas duas espécies (*H. intermedia* e *K. tropica*), enquanto que em jun./1999, *B. havanaensis*, *K. tropica* e *B. calyciflorus* foram as espécies mais abundantes, dentre as 11 (onze) registradas.

A ACP considerando os dados das variáveis limnológicas e as espécies mais abundantes de Rotifera, Copepoda e Cladocera referente ao mês de dez./1998 no açude Pacajus mostrou clara correlação entre *B. calyciflorus* e o estado trófico do reservatório (Figura 123).

Figura 123- Plano fatorial definido pelos dois primeiros eixos da ACP referente a dez./1998, considerando os dados das variáveis físicas, químicas e densidades das espécies mais abundantes de Rotifera, Copepoda e Cladocera no açude Pacajus.

T. decipiens e *T. minutus* também mostraram forte correlação com variáveis relacionadas ao estado trófico do açude Pacajus (Figura 124). A análise de ordenação das unidades amostrais revelou um gradiente espacial na distribuição das espécies mais abundantes dos três grupos considerados, com os Rotifera e Copepoda mais abundantes nas regiões fluvial e intermediária, classificadas, respectivamente, como hiper- e eutrófica, nessa época do ano (Figura 125).

Figura 124- Plano fatorial definido pelos eixos I e III da ACP referente aos dados de dez./1998, considerando as variáveis limnológicas e as espécies mais abundantes de Rotifera, Copepoda e Cladocera no açude Pacajus.

Figura 125- Ordenação das unidades amostrais do açude Pacajus no espaço vetorial definido pelos dois primeiros eixos estatisticamente significativos da ACP referente ao mês de dez./1998 (75,0%).

A ACP considerando a densidade total dos Rotifera, Cyclopoida e Calanoida para o mês de jun./1999 no açude Gavião mostrou forte correlação entre os dois primeiros grupos de organismos e o estado trófico do reservatório, como revelou o espaço vetorial formado pelos fatores I e III. Tanto os Rotifera como os Cyclopoida apresentaram forte correlação com clorofila *a*, enquanto os Calanoida apareceram fortemente correlacionados com a C.E. (Figura 126), menor nessa época do ano em razão do efeito de diluição causado pelo aumento do nível d'água. A análise de ordenação das unidades amostrais, da mesma forma que para o açude Pacajus, mostrou um gradiente espacial na distribuição dos principais grupos, com os Rotifera e Copepoda-Cyclopoida mais abundantes na região fluvial do reservatório, enquanto os Copepoda-Calanoida pareceram melhor adaptados às regiões central e lacustre (Figura 127), caracterizadas pela maior transparência e menores valores de biomassa algal e força iônica.

Figura 126- Plano fatorial definido pelos eixos I e III da ACP referente aos dados de jun./1999, considerando as variáveis limnológicas e as espécies mais abundantes de Rotifera, Copepoda e Cladocera no açude Gavião.

Figura 127- Ordenação das unidades amostrais do açude Gavião no espaço vetorial definido pelos eixos I e III (63,0%) da ACP referente ao mês de jun./1999.

Quanto aos Cladocera, observou-se baixa riqueza, com registro de três espécies no açude Pacajus e seis no Gavião. *Diaphanosoma spinulosum* foi a espécie dominante no açude Pacajus nos dois períodos investigados, com maior densidade em dez./1998, sendo observada em 100% das amostras. *Ceriodaphnia cornuta rigaudi* foi a segunda espécie mais abundante, com densidade ligeiramente superior em jun./1999. *Ceriodaphnia cornuta rigaudi* e *Macrothrix flabelligera* foram as espécies mais abundantes no açude Gavião em dez./1998 e jun./1999, respectivamente. *Ceriodaphnia cornuta cornuta* e *Daphnia gessneri* foram registradas somente no açude Gavião, em dez./1998.

8. Discussão

8.1. Análise Estatística da série climática histórica (1961-1990) e do biênio 1998-1999

Não raramente, os textos de limnologia descrevem as condições climáticas dos trópicos como relativamente estáveis, com pequenas variações sazonais (PAYNE, 1986). No entanto, apesar da amplitude sazonal da temperatura do ar ser estreita, especialmente quando comparada àquela de regiões de clima temperado, a maior parte das regiões tropicais apresenta pelo menos uma estação chuvosa (PAYNE, 1986). Nesse período, além das maiores nebulosidade e umidade relativa do ar, outras condições climáticas associadas também podem ocorrer, como mudanças no regime de ventos - uma das forçantes climáticas responsáveis pela determinação dos padrões de mistura e, conseqüentemente, pela disponibilidade de recursos em ecossistemas aquáticos (PAYNE, 1986).

Durante a época de chuvas, os pulsos de material em suspensão e sais dissolvidos com as águas afluentes funcionam como uma informação sazonal para o início do ciclo reprodutivo de animais e plantas. Em regiões tropicais, onde as variações de temperatura durante o ciclo diário e a extensão dos dias são pouco variáveis, os pulsos de matéria e energia, além das alterações no volume d'água e nas velocidades de corrente podem ser considerados como fatores proximais para a iniciação dos padrões de crescimento (PAYNE, 1986).

Segundo LEWIS (1983), apesar da amplitude da sazonalidade ser comparativamente mais baixa nos trópicos, os ciclos meteorológicos regulares anuais afetam o regime de insolação, a temperatura do ar, a velocidade do vento, a umidade e o regime de chuvas, podendo, portanto, induzir a padrões de circulação anuais em lagos.

A região semi-árida, caracterizada por amplitudes sazonais menores quando comparadas àquelas normalmente registradas em regiões de clima tropical e subtropical, apresenta forte dependência da ocorrência de uma estação chuvosa representativa para o destacamento de uma sazonalidade bem marcada. Além disso, em razão da pequena variabilidade temporal da temperatura do ar, variável chave para a delimitação de estações climáticas em outras regiões, algumas variáveis como insolação e velocidade do vento podem definir condições atmosféricas indutoras de sazonalidade, sobretudo em anos em que a precipitação pluviométrica é escassa.

A aplicação de técnicas estatísticas multivariadas (ACP e Análise de Correspondência) ao conjunto de dados climáticos, tanto da série histórica quanto do biênio 1998-1999,

mostrou-se bastante útil na delimitação dos meses representativos dos períodos seco e chuvoso, além de identificar períodos de transição, com características climáticas intermediárias. A menor associação dos meses de janeiro, julho e agosto com os *clusters* principais revelou a existência de condições atmosféricas intermediárias, as quais definiram períodos climáticos de transição entre as estações seca e chuvosa. A diferenciação destes meses revelou a importância da contemplação de meses anteriores aos períodos chuvoso e seco na caracterização limnológica de reservatórios do Estado do Ceará, visto que podem agregar informações importantes àquelas relativas aos períodos climáticos bem definidos.

No caso dos meses anteriores ao período seco, o aumento gradativo das taxas de insolação e da velocidade do vento em relação ao período chuvoso anterior, além de favorecer a evaporação, em ação sinérgica, resultando em perdas hídricas, pode induzir a maiores velocidades nas taxas de ciclagem de nutrientes e flutuações na extensão da zona de mistura ao longo do ciclo diário, com implicações sobre a fertilização interna e, conseqüentemente sobre a produtividade primária do fitoplâncton. Sobre isso, PAYNE (1986) destacou que o transporte vertical do fitoplâncton ao longo da zona afótica durante períodos de circulação completa da coluna d'água é um dos fatores limitantes à produtividade da comunidade em razão da menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa. Esta situação pode perdurar enquanto as condições indutoras de instabilidade da coluna d'água permanecerem (PAYNE, 1986).

LEWIS (1983) afirmou que mudanças na extensão da zona de mistura durante a estratificação são particularmente encontradas em lagos tropicais em razão da sua menor estabilidade em relação aos temperados

Portanto, deve-se considerar, especialmente face à pequena profundidade média e a suavidade do relevo de entorno da maioria dos açudes do estado do Ceará, a importância de contemplar, em programas de monitoramento, meses de transição entre as estações, já que as condições atmosféricas intermediárias podem influenciar, diferenciadamente, a estabilidade física dos reservatórios e, portanto, aumentar a interação entre os compartimentos dos sistemas.

Apesar de fugir do escopo deste trabalho de pesquisa, ressalta-se a importância da realização de estudos futuros em escala nictemeral, já que a variabilidade das condições climáticas ao longo do ciclo diário, especialmente em regiões de clima semi-árido, podem ser de magnitude maior do que as observadas em escala sazonal.

A variável precipitação, apesar de definir, juntamente com as variáveis umidade relativa e nebulosidade, o cenário climático predominante do primeiro semestre do ano, teve menor importância relativa na construção dos fatores estatisticamente significativos da ACP quando comparada à sua contribuição em relação aos dados históricos; comportamento influenciado pelo menor total anual precipitado durante o período de estudo quando comparado ao total histórico, caracterizando o biênio 1998-1999 como de forte déficit hídrico.

Deve-se destacar também a pequena contribuição da variável temperatura do ar para a diferenciação das condições atmosféricas em escala sazonal, conforme revelada pelas ACPS relativas à série histórica climática e ao biênio de estudo, ratificando, portanto, sua menor importância na definição da sazonalidade local.

A aplicação de técnicas de estatística multivariada e circular aos dados climáticos históricos e do biênio 1998-1999 permitiu não somente a aferição de metodologia para a caracterização climática regional, mas também a delimitação dos *clusters* climáticos e, a partir daí, a escolha dos meses e a frequência de amostragem, facilitando a tarefa de otimização da pesquisa com base nas limitações logísticas e financeiras.

Vale salientar, no entanto, que diante da instabilidade intra- e inter-anual das condições atmosféricas causadas por mudanças nos padrões climáticos globais, a delimitação de *clusters* de meses baseados em técnicas estatísticas deve basear-se em séries climáticas atualizadas.

8.2. Condições de Mistura da Coluna d'água

i) Estrutura Térmica

A disposição predominantemente vertical das isotermas durante os meses correspondentes ao segundo semestre do ano revelou tendência à isoterminia da coluna d'água dos açude Pacajus e Gavião. Esta situação foi favorecida pelas condições fisiográficas da área de entorno, como a cobertura vegetal, dominada por espécies de porte arbustivo, e a suavidade do relevo, características que favoreceram a ação desestabilizadora do vento sobre a estrutura vertical dos sistemas.

HENRY (1990) também destacou a importância do relevo da área de entorno, da morfometria e da direção preferencial do vento para as condições de isoterminia observadas na Represa de Jurumirim (São Paulo). Além desses fatores, a estrutura da vegetação marginal, de

porte arbóreo ou rasteiro, também foi apontada pelo pesquisador como favorável ao processo de mistura vento-induzida.

No segundo semestre, o vento pode ser considerado como principal função de força atuante sobre a estrutura vertical dos reservatórios.

A tendência à holomixia observada durante o período seco fortaleceu a hipótese da pequena influência relativa da C.E. sobre a estrutura vertical dos reservatórios, já que os gradientes salinos foram muito pequenos ou inexistentes. Este comportamento foi favorecido pela ausência de correntes advectivas, comumente observadas em reservatórios com baixo tempo de residência durante o período de aporte e responsáveis pelo enriquecimento das águas residentes. Nessa situação, a densidade calculada com base somente nos valores de temperatura da água pode servir como boa aproximação para inferências sobre a estabilidade da coluna d'água e, quiçá, para a determinação da extensão da zona de mistura, z_{mix} .

Os maiores gradientes térmicos verticais observados na região intermediária do açude Pacajus, representada pelo ponto PJ04, deveram-se à presença de vegetação remanescente parcialmente submersa, incluindo troncos de carnaúba (*Copernicia frunifera*) que, além de conferir um aspecto ecológico diferenciado ao longo do eixo longitudinal Rio Choró-barragem, atuou como barreira física à ação de mistura completa vento-induzida.

A presença de fitomassa inundada nessa região do açude Pacajus denotou um certo descaso sobre a necessidade de desmatamento da área a ser inundada anteriormente à fase de enchimento, motivado pelo desconhecimento das complexas implicações sobre a qualidade da água armazenada decorrentes dos processos envolvidos na estabilização da vegetação remanescente.

Além das menores velocidades do vento, outro fator considerado como favorável ao estabelecimento de maiores gradientes térmicos verticais observados na região fluvial do açude Pacajus nos meses correspondentes ao período chuvoso, particularmente em abril/1999, foi a diferença de densidade entre as águas afluentes e aquelas do sistema receptor. Esse processo foi mais evidente neste reservatório, já que o Rio Choró, seu principal tributário, além de drenar uma área bem maior que a do Rio Cocó, afluente principal do açude Gavião, recebe grande carga poluidora proveniente das cidades ribeirinhas ao longo do seu curso, a maioria com sistema de esgotamento sanitário precário ou inexistente. Além disso, deve-se considerar também a presença de uma área alagada na zona superior do açude Gavião, a qual

funciona como sistema tamponante ao aporte de matéria e energia, minimizando a influência do regime hidrológico do rio barrado sobre a estrutura da região superior do reservatório.

A distribuição das isolinhas de C.E. e turbidez na zona superior do açude Pacajus sugeriu a entrada de águas mais densas pelas camadas inferiores da coluna d'água durante o período chuvoso (Figura 128 e Figura 129), dando origem a gradientes verticais e longitudinais significativos nessa região.

Figura 128- Distribuição longitudinal da condutividade elétrica (mS.cm^{-1}) ao longo do eixo rio-barragem do açude Pacajus em abr./1999.

Figura 129- Distribuição longitudinal da turbidez (UNT) ao longo do eixo rio-barragem do açude Pacajus em abr./1999.

De acordo com HOCKING & STRASKRABA (1999), as águas afluentes do rio barrado tendem a ocupar uma profundidade de densidade similar, com algum grau de mistura com as águas do reservatório, sendo que a nova camada possui temperatura e volume diferentes daqueles correspondentes ao fluxo original do rio.

HEJZLAR & STRASKRABA (1989) observaram que os padrões longitudinais de algumas variáveis limnológicas no reservatório Rimov (República Tcheca) estiveram

estritamente associados às diferenças de temperatura e densidade entre as águas receptoras e aquelas do ecossistema lótico barrado. Além disso, estes pesquisadores também pontuaram acerca da influência do tempo de residência sobre o padrão de distribuição horizontal da temperatura, já que esta variável hidráulica exerce forte efeito sobre a formação e magnitude dos gradientes térmicos verticais e longitudinais em reservatórios.

O maior afastamento das isolinhas de C.E. e turbidez na direção rio-barragem no açude Pacajus denotou suavização dos gradientes longitudinais provocado tanto pelo processo de mistura gradual das águas afluentes com as águas receptoras, de menor força iônica e maior transparência, como pela sedimentação do material em suspensão ao longo de um gradiente hidráulico longitudinal.

No entanto, o processo de mistura na região fluvial do açude durante o período de aporte, onde os gradientes de densidade foram maiores, pareceu ser apenas parcial. Acredita-se que, nessa região do reservatório, houve substituição das águas residentes pelas águas do Rio Choró, em detrimento da hipótese de ocorrência de mistura total, particularmente nos meses de maior deflúvio. No entanto, o elevado tempo de residência médio do reservatório deve ter atuado favoravelmente à suavização dos gradientes longitudinais na direção rio-barragem, mesmo comportamento observado no açude Gavião.

Apesar de receber contribuição do Rio Cocó (rio barrado) durante o período de aporte, o açude Gavião tem a maior parte do aporte anual proveniente do subsistema Pacoti-Riachão através do canal-túnel Riachão-Gavião, especialmente em anos de baixa precipitação pluviométrica, como foi o caso do período de estudo. Ao contrário das águas afluentes com o rio barrado, as águas provenientes do subsistema Pacoti-Riachão possuem menor força iônica e turbidez (Figura 130 e Figura 131) e, portanto, menor densidade, favorecendo o processo de mistura com as águas residentes do açude Gavião, atenuando os gradientes verticais e longitudinais.

Figura 130- Distribuição da condutividade elétrica (mS/cm) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em abr./1999.

Figura 131- Distribuição da turbidez (UNT) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em abr./1999.

Durante o período chuvoso, apesar dos maiores gradientes térmicos verticais observados nos açudes Pacajus e Gavião, mudanças nas condições climáticas ao longo do ciclo diário, particularmente na intensidade dos ventos e radiação solar, devem ter favorecido episódios de mistura completa da coluna d'água. Além disso, deve-se considerar também a maior turbulência da coluna d'água durante a ocorrência de chuvas em resposta às mudanças nas condições atmosféricas locais.

TOWNSEND (1998) observou a ocorrência de holomixia em dois reservatórios australianos (Manton e Darwin) pelo menos uma vez durante o período seco, destacando ainda que o número de eventos de holomixia dependeu da frequência, intensidade e duração dos ventos, os quais sopraram predominantemente na direção Sul-Leste. A maior duração do período de holomixia no reservatório Darwin foi atribuída ao maior *fetch* e aos ventos mais intensos incidentes sobre a superfície livre do reservatório. O pesquisador também atribuiu o

processo de holomixia observado nos dois reservatórios durante o período seco à ação predominante do vento como fonte de energia primária, em detrimento do processo de mistura convectiva.

Apesar de ter sido constatada tendência à holomixia nos açudes Pacajus e Gavião, há de se ressaltar que outros íons contribuintes para a força iônica total podem apresentar gradientes verticais consideráveis em razão da sua natureza não-conservativa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Íons com comportamento conservativo (Cl^- e Na^+) devem ter seguido o mesmo padrão de distribuição vertical da condutividade elétrica já que apresentaram maior contribuição para a magnitude dessa variável.

De acordo com HAN *et al.* (2000), a estratificação da coluna d'água em reservatórios é afetada principalmente pelo tempo de residência e modificada pelas características térmicas dos aportes e pelas variações na intensidade dos ventos.

Segundo HENRY (1990), a estabilidade máxima da coluna d'água em reservatórios aumenta com a elevação do tempo de residência. Dentro do conceito de continuum rio-lago, represas com maior tempo de residência tendem a assumir características hidrodinâmicas e ecológicas típicas de lagos (HENRY, 1990).

O tempo de residência (TR) tem sido reconhecido como importante variável hidráulica na determinação do padrão térmico de reservatórios (STRASKRABA, TUNDISI e DUNCAN, 1993; HEJZLAR & STRASKRABA, 1989; STRASKRABA, 1998; HOCKING & STRASKRABA, 1999; STRASKRABA, 1999).

Apesar dos dados não suportarem inferências assertivas acerca da influência do tempo de residência sobre a distribuição longitudinal de temperatura nos açudes Pacajus e Gavião, os maiores gradientes térmicos horizontais foram observados no açude Pacajus, reservatório com maior tempo de residência e maior extensão do eixo longitudinal principal em relação ao Gavião.

Temperaturas mais elevadas observadas nas zonas mais rasas dos açudes Pacajus e Gavião durante o período de estudo suscitaram a hipótese de aquecimento diferenciado da coluna d'água dessas regiões, já que ganham ou perdem calor mais rapidamente que as regiões mais profundas (FORD, 1990).

TOWNSEND (1998) e MONISMITH, IMBERGER e MORISON (1990) observaram gradientes térmicos longitudinais em reservatórios australianos atribuindo-os ao elevado

tempo de residência e às diferenças morfométricas entre os compartimentos horizontais dos sistemas, particularmente diferenças na $z_{\text{méd}}$.

TOWNSEND (1998) observou grande variabilidade térmica horizontal e de C.E. no reservatório Manton (Austrália) causada pelas diferenças nas propriedades físicas e químicas entre as águas afluentes e as águas residentes. No mesmo estudo, o pesquisador atribuiu o maior impacto das águas afluentes sobre a estrutura vertical e horizontal do reservatório Darwin à sua pequena capacidade de armazenamento quando comparada ao volume do aporte.

Outro fator considerado como favorável à mistura completa da coluna d'água dos açudes Pacajus e Gavião é a pequena $z_{\text{méd}}$ dos mesmos. A Fig. 132 mostra a variação de $z_{\text{méd}}$ dos açudes Pacajus e Gavião ao longo do biênio 1998-99.

Figura 132- Variação diária da profundidade média, $z_{\text{méd}}$, nos açudes Pacajus e Gavião ao longo do biênio 1998-99.

Durante o período de estudo, os açudes Pacajus e Gavião apresentaram $z_{\text{méd}}$ de 3,4 m e 4,2 m, respectivamente.

Com exceção de alguns açudes encaixados em vales de regiões serranas, a quase totalidade dos reservatórios do Estado do Ceará apresenta reduzida $z_{\text{méd}}$, com significativas alterações ao longo do ano hidrológico em resposta às variações de nível d'água. Portanto, os açudes Pacajus e Gavião, assim como a maior parte dos reservatórios estaduais, podem ser considerados, de acordo com classificação proposta por STRASKRABA (1990), como ecossistemas aquáticos rasos.

De acordo com PAYNE (1986), lagos suficientemente rasos, com $z_{méd}$ inferior a 4,0-5,0 m, experimentam episódios de mistura completa durante o ciclo de 24 horas.

Reservatórios com episódios frequentes de mistura, embora em intervalos de tempo irregulares, podem ser classificados como polimícticos.

NASELLI-FLORES (1999) afirmou que devido às significativas perdas, com conseqüente diminuição do nível d'água, alguns reservatórios localizados na região da Sicília (Itália) apresentaram comportamento tipicamente polimíctico, em contraste com aqueles classificados como monomícticos quentes, mais comuns na região. Segundo o pesquisador, poucos reservatórios sicilianos são profundos o suficiente para manter uma termoclina estável durante o verão. Além disso, NASELLI-FLORES (1999) afirmou que a diminuição da $z_{méd}$ pode ter importantes implicações ecológicas para os reservatórios da Sicília, já que favorece uma maior influência do vento sobre os padrões de estratificação/desestratificação ao longo do ciclo diário.

Segundo PAYNE (1986), o resfriamento da superfície da coluna d'água pode, por si só, causar isoterminia em lagos tropicais rasos através de movimentos convectivos das águas mais densas em direção às camadas inferiores. No entanto, o pesquisador ressaltou a importância da ação sinérgica do vento como agente indutor de mistura em lagos localizados em latitudes equatoriais, onde as mudanças sazonais de temperatura podem ser insuficientes para produzir mistura completa da coluna d'água.

BARBOSA & TUNDISI (1980) atribuíram a mistura completa observada na Lagoa Carioca (Minas Gerais) nos meses de julho e agosto ao resfriamento da superfície, já que o sistema é bem protegido da ação do vento pela densa floresta circundante.

A maior dificuldade em se classificar um reservatório tropical com base no seu padrão de circulação está na definição de um gradiente térmico que caracterize a formação de uma termoclina, como já consolidado para corpos d'água de clima temperado ($1,0^{\circ}\text{C.m}^{-1}$). Se considerados os reservatórios localizados em regiões semi-áridas, além do fator temperatura, deve-se levar em conta a influência da concentração de sais dissolvidos sobre a densidade da água e, portanto, sobre a estrutura vertical da coluna d'água.

Apesar dos maiores gradientes térmicos verticais observados nos açudes Pacajus e Gavião durante o período chuvoso, acredita-se que os mesmos não foram suficientes para causar a compartimentalização da coluna d'água, com conseqüente destacamento de uma termoclina típica. O mais razoável seria assumir que durante o ciclo diário, a coluna d'água

dos reservatórios experimentasse períodos de relativa estabilidade, especialmente nos horários de maior insolação e menor intensidade dos ventos, condição que favoreceria, teoricamente, o surgimento de termoclinas temporárias, facilmente erodidas pela ação de forçantes climáticas ao longo do dia.

Apesar de menos intensos durante o período chuvoso, ventos da ordem de 3,0 a 4,0 m.s⁻¹ já seriam suficientes para causar movimentos de desestabilização da estrutura vertical através da redistribuição do calor acumulado nas camadas superficiais da coluna d'água (ANTENUCCI & IMERITO, 2002).

Embora não tenham sido realizadas coletas nictemerais ou em intervalos mais freqüentes do que aqueles assumidos na presente pesquisa, considerando as condições climáticas locais, as características fisiográficas das áreas de entorno, além da morfometria dos açudes Pacajus e Gavião, parece razoável admitir que o padrão de circulação mais representativo das condições térmicas observadas nestes sistemas é o polimítico. Até mesmo durante o período chuvoso, quando foram observados maiores gradientes térmicos verticais, as significativas variações nas condições climáticas durante o ciclo nictemeral devem ter favorecido episódios de circulação diária. A conjunção desses fatores deve causar grande variação na extensão da z_{mix} e, conseqüentemente, na razão $z_{mix}:z_{eu}$ ao longo do dia.

O deslocamento da z_{mix} e as flutuações nos valores da razão $z_{mix}:z_{eu}$ têm grande importância para o metabolismo de reservatórios, já que exercem grande influência sobre a estrutura e a produtividade primária da comunidade do fitoplâncton. As flutuações na razão $z_{mix}:z_{eu}$ estão diretamente associadas aos níveis de radiação percebidos pelas células algais ao longo de gradientes verticais de luz e, conseqüentemente, sobre o rendimento fotossintético das mesmas (CALIJURI, 1988; CALIJURI, 1999; CALIJURI & DOS SANTOS, 2001).

Nogueira *et al.* (1999) observaram alterações na extensão da z_{mix} durante o período de estratificação no reservatório Jurumirim (São Paulo). Este fenômeno, conhecido como atelomixia, parece ser uma característica comum a lagos tropicais, segundo LEWIS (1973; 1983).

De modo geral, pode-se afirmar que as mudanças observadas na estrutura vertical da coluna d'água dos açudes Pacajus e Gavião ao longo do ano podem, guardadas as peculiaridades morfométricas e hidrodinâmicas, além da fisiografia das respectivas bacias de drenagem, ser consideradas representativas do padrão de circulação dos reservatórios estaduais, classificados, na sua grande maioria, como ecossistemas aquáticos rasos.

Exceções a este comportamento podem ser observadas em reservatórios profundos localizados em regiões serranas, geralmente em vales protegidos por relevo montanhoso, como é o caso do Açude Acarape do Meio, reservatório localizado na serra de Pacoti (Ceará), responsável, além do abastecimento de água para consumo humano das populações de cidades vicinais, pelo fornecimento de água bruta às indústrias do Distrito Industrial de Fortaleza. Nesse reservatório, é comum a observação de termoclinas estáveis ou termoclinas múltiplas durante todo o ano, as quais sofrem deslocamento de acordo com o regime de operação e as características dos aportes durante o período de chuvas. Os gradientes térmicos verticais chegam a $2,0^{\circ}\text{C.m}^{-1}$, dando origem a termoclinas bem marcadas.

A manutenção da estabilidade da coluna d'água do reservatório durante todo o ano deve-se tanto à sua morfometria, representada principalmente pela elevada $z_{\text{méd}}$, como pela barreira física à ação de mistura vento-induzida conferida pelo relevo montanhoso da área de entorno. As isotermas referentes a mai./2001 e abr./2001 retrataram bem esta situação, onde a proximidade e grande densidade de isolinhas revelam a formação de termoclinas pronunciadas ao longo da coluna d'água (Figura 133 e Figura 134).

No entanto, como já citado, esta estrutura térmica diferenciada, com elevada estabilidade da coluna d'água, é característica de poucos reservatórios do Estado do Ceará, geralmente aqueles localizados em vales de regiões serranas, como é o caso do açude Acarape do Meio (Figura 135).

Figura 133- Distribuição longitudinal da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Acarape do Meio (rio-barragem) em mai./2001.

Figura 134- Distribuição longitudinal da temperatura da água (°C) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Acarape do Meio (rio-barragem) em abr./2001.

No entanto, é importante ressaltar que, apesar da estrutura térmica dos açudes Pacajus e Gavião apontar para a classificação dos reservatórios como sistemas polimíticos, essa hipótese só poderá ser testada e validada após estudos que contemplem uma maior frequência de amostragem, cobrindo ciclos sazonais e nictemerais durante o ano.

Figura 135- Foto da época de construção do Açude Acarape do Meio, mostrando o relevo montanhoso da área de entorno. Fonte: GGERH – Arquivo fotográfico.

ii) Distribuição vertical e longitudinal de sais dissolvidos

A variação espaço-temporal da C.E. nos açudes Pacajus e Gavião esteve estreitamente associada aos períodos hidro-climáticos, os quais definiram diferentes fases do escoamento, e aos respectivos regimes de operação e características morfométricas, responsáveis pelo estabelecimento de gradientes salinos espaciais.

Sazonalmente, a dinâmica de sais dissolvidos no interior dos açudes foi caracterizada pela ocorrência dos processos de carga e diluição, correspondentes às diferentes fases do escoamento, além do processo de concentração evaporativa, predominante durante o segundo semestre.

Num primeiro momento, correspondente ao início da fase de escoamento, o aumento da força iônica no interior dos reservatórios respondeu ao efeito predominante de carga de sais em detrimento do processo de diluição. As primeiras chuvas sobre as bacias hidrográficas provocam a solubilização e arraste dos sais depositados e acumulados no solo durante o período seco anterior, gerando um escoamento caracterizado pela maior força iônica em relação às águas receptoras.

HART & McKELVIE (1986) ressaltaram a importância de estudos sobre a influência do “primeiro fluxo” a lagos e reservatórios após um período de estiagem, desde que podem induzir a uma carga efetiva de substâncias em diversos estados de agregação a esses sistemas. De acordo com os pesquisadores, o efeito é tanto maior quanto menor a intensidade da precipitação no período imediatamente anterior; condição que favorece o acúmulo dos sais depositados sobre o solo da bacia de drenagem.

Os menores valores médios de C.E. observados durante o bimestre maio-junho/1999 deveram-se ao efeito predominante de diluição das águas residentes, determinando a redução da força iônica das águas dos reservatórios e caracterizando esse período como uma fase final do escoamento.

Portanto, num primeiro momento, as contribuições difusas e as cargas afluentes com os principais tributários conferem um efeito de enriquecimento das águas armazenadas, efeito não compensado pela diluição causada pelo aumento gradual do nível d'água. Após essa fase, correspondente ao início do período de chuvas, o efeito de diluição torna-se preponderante, já que os deflúvios crescentes assumem maior importância em relação à entrada de sais.

Durante o segundo semestre, o aumento gradual da força iônica das águas dos reservatórios deveu-se, predominantemente, ao processo de concentração evaporativa. No entanto, há de se considerar também o efeito do tempo de residência sobre o processo de renovação das águas e, conseqüentemente, sobre o balanço de sais dissolvidos no interior dos açudes. O efeito sinérgico das taxas crescentes de evaporação e dos maiores tempos de residência típicos do período seco pode ser apontado como principal responsável pelo aumento gradual da força iônica durante o segundo semestre.

Os menores gradientes salinos verticais nessa época do ano resultaram da ação do vento sobre a estrutura vertical dos sistemas.

O açude Gavião, apesar de apresentar comportamento similar ao Pacajus, com um ciclo bem definido de carga-diluição-concentração, foi caracterizado, hidrologicamente, pelo aporte mais ou menos contínuo de águas mais diluídas e com menor turbidez provenientes do subsistema Pacoti-Riachão. Essa peculiaridade resulta em gradientes longitudinais inversos, comportamento antagônico ao observado para o açude Pacajus, onde as zonas superior e intermediária caracterizam-se pela maior força iônica.

Portanto, o enriquecimento causado pelas águas afluentes do Rio Choro tiveram um maior impacto sobre a distribuição longitudinal dos sais dissolvidos no açude Pacajus do que as do Rio Cocó sobre o açude Gavião, já que a “interceptação” pelas águas provenientes de transferências hídricas provocou um efeito predominante de diluição, atenuando os gradientes longitudinais em direção à região de barragem do reservatório.

Durante o período de estiagem os maiores gradientes salinos longitudinais observados no açude Pacajus deveram-se ao processo de concentração evaporativa, sentido com maior intensidade na região fluvial, caracterizada pela menor $Z_{\text{méd}}$ em relação ao restante do reservatório.

O elevado tempo de residência do reservatório, classificado como de fluxo lento ($TR > 1$ ano), juntamente com o aporte de águas com menor força iônica via Canal do Trabalhador, as quais desembocam nas proximidades da barragem, devem ser considerados como fatores contribuintes para o estabelecimento de fortes gradientes longitudinais entre as regiões lacustre e superior do açude Pacajus durante o período de estiagem.

Portanto, o procedimento de transposição de águas via Canal do Trabalhador pode servir não somente para a manutenção dos níveis d'água do reservatório e reforço da capacidade de armazenamento do SAABRMF, mas também para a melhoria da qualidade da

água armazenada em períodos críticos de estiagem, quando a concentração de íons Cl^- e sólidos totais dissolvidos (STD) normalmente excedem os valores máximos admissíveis recomendados para corpos d'água lênticos de água doce enquadrados na Classe 2 pela ; Resolução CONAMA N°. 357 (Cl^- : 250,0 mg.L^{-1} ; STD: 500,0 mg.L^{-1} ; BRASIL, 2005).

Procedimento semelhante foi descrito por SERRUYA & LEVENTER (1984) para o reservatório de Kishon (Israel), o qual funciona, na maior parte do ano, como um reservatório operacional, garantindo água para atividades de irrigação. No período de março a outubro, correspondente ao período seco, a concentração média de íons Cl^- nas águas desse reservatório aumenta de 240 mg.L^{-1} para valores acima de 320 mg.L^{-1} . No entanto, o constante aporte de águas mais diluídas provenientes do Lago Kinneret ($\approx 240 \text{ mg.L}^{-1}$) atenua e controla a salinidade durante o período de baixa precipitação pluviométrica. A transferência das águas do Lago Kinneret, além de garantir o uso das águas do reservatório de Kishon para irrigação, também resulta numa melhoria da qualidade bacteriológica através da diminuição da densidade de bactérias do grupo coliforme (SERRUYA & LEVENTER, 1984).

Durante o período de estudo, a concentração média de íons Cl^- no açude Pacajus foi de 250,8 mg.L^{-1} ($187,4 < 250,8 < 372,8$), com jun./1999 apresentando a menor média mensal: 221,4 mg.L^{-1} ($199,1 < 221,4 < 349,9$). Esse mês apresentou o maior volume médio armazenado dentre os amostrados (99,847 hm^3). Vale ressaltar que o aporte nessa época do ano deveu-se quase que exclusivamente à contribuição das transposições via Canal do Trabalhador, caracterizadas pela menor força iônica em relação às águas residentes. A concentração média de íons Cl^- nas águas provenientes do Canal do Trabalhador foi de aproximadamente 120,0 mg.L^{-1} (COGERH, dados não publicados).

Os menores gradientes longitudinais de C.E. no açude Gavião podem ser creditados i) à menor flutuação do nível d'água, comportamento hidrológico que resultou em menores alterações da $z_{\text{méd}}$ em comparação ao açude Pacajus; ii) à entrada de águas com menor força iônica provenientes do subsistema Pacoti-Riachão; iii) menor variabilidade morfométrica e extensão do eixo longitudinal principal em relação ao açude Pacajus.

De modo geral, pode-se dizer que os açudes estaduais seguem, aproximadamente, o mesmo ciclo de carga-diluição-concentração observado para os açudes Pacajus e Gavião, considerando-se, é claro, as peculiaridades morfométricas e dos regimes de operação de cada reservatório, além das atividades de uso e ocupação do solo das respectivas bacias hidrográficas.

8.3. Composição Iônica Principal

O padrão de dominância iônica encontrado por NASELLI-FLORES (1999) em reservatórios do Norte da Sicília (Itália), região caracterizada pelo forte déficit hídrico, foi similar àquele observado por ARMENGOL, PÉREZ-ROJAS & MORGUÍ (1991) em reservatórios espanhóis de águas bicarbonatadas. Os reservatórios apresentaram dominância dos íons Ca^{2+} e HCO_3^- durante o outono e inverno, embora pudesse ocorrer dominância dos íons SO_4^{2-} durante o verão. No entanto, a maioria dos reservatórios sicilianos apresentou águas cloretadas-sulfatadas, de acordo com a distribuição das amostras no diagrama de Langelier-Ludwig ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$).

WILLIAMS & BUCKNEY (1976) observaram que, de modo geral, o padrão de dominância iônica das águas doces australianas foi $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$, incluindo-se nessa categoria a maior parte dos lagos localizados na Tasmânia, New South Wales e Queensland. Esse padrão foi similar àquele observado para os açudes Pacajus e Gavião.

Em relação aos lagos salinos, WILLIAMS & BUCKNEY (1976) observaram que a composição iônica principal foi extremamente homogênea e constante em termos relativos: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. Mesmo com flutuações significativas na salinidade durante o ano, as proporções entre os íons majoritários permaneceram constantes. Os pesquisadores sugeriram que a constância observada na composição iônica de lagos salinos australianos deveu-se a mecanismos geoquímicos, como troca iônica diferencial, associados ao transporte de sais a partir dos sedimentos e das salinas circundantes. As pequenas diferenças na composição iônica majoritária entre os lagos foram atribuídas à forte influência das características geoquímicas locais.

BUCKNEY & TYLER (1973) e CHENG & TYLER (1973) reportaram dominância e subdominância dos íons Ca^{2+} e HCO_3^- em lagos localizados no platô central da Tasmânia (Austrália), atribuindo as alterações na composição iônica majoritária à influência da geologia dolerítica da região. Os padrões de dominância iônica observados foram: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

BOWEN & SMALLS (1980) mostraram que a tendência geral de dominância iônica para seis reservatórios em New South Wales (Austrália) foi $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ :: \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$.

De acordo com WILLIAMS & BUCKNEY (1976), a composição iônica das águas interiores australianas difere grandemente da “composição padrão” proposta por CONWAY (1942 apud WILLIAMS & BUCKNEY, 1976). Ao invés de cátions divalentes e íons bicarbonato, os íons Na^+ e Cl^- apresentaram-se como majoritários, tendência ressaltada com o aumento da salinidade (WILLIAMS & BUCKNEY, 1976).

HART & McKELVIE (1986) afirmaram que uma parte dos lagos australianos exibe razões iônicas próximas àquelas da água do mar. Isso é particularmente verdadeiro para lagos das regiões sudoeste, leste e central da Tasmânia. Apesar de muitos lagos apresentarem dominância iônica diferente desse padrão, a maior parte retém o Na^+ e o HCO_3^- como íons dominantes, sendo que a composição iônica final depende ainda, de uma maneira complexa, de processos físicos e químicos envolvidos na lixiviação do solo e cobertura rochosa das bacias de drenagem e das contribuições das águas subterrâneas.

LIMA *et al.* (1996) concluíram que a maior fonte de sais ao reservatório Pereira de Miranda, localizado na Bacia do Rio Curu (Ceará), no período de 1982-84 foi a deposição seca de aerossóis marinhos durante o período de estiagem. Em outro estágio, os sais depositados sobre o solo da bacia foram lavados e transportados para o interior do reservatório, contribuindo para a salinização do açude. Os autores estimaram uma carga anual de íons Cl^- ao reservatório de 2.978 e 3.729 ton, referentes à contribuição direta (deposição sobre o espelho d'água) e à lavagem dos sais precipitados e acumulados no solo da bacia de drenagem, respectivamente.

A Bacia do Rio Curu, juntamente com as Bacias Metropolitanas, onde estão inseridos os açudes Pacajus e Gavião, apresenta maior proximidade do litoral em relação às demais bacias hidrográficas estaduais. O fato dos reservatórios localizados nessas duas bacias apresentarem o mesmo padrão de dominância iônica (Na^+ e Cl^-) suscitou a hipótese de influência dos aerossóis marinhos e dos processos de deposição seca e úmida sobre a composição iônica principal dos sistemas.

Apesar dos resultados mostrarem que açudes localizados numa mesma bacia hidrográfica tendem a apresentar o mesmo padrão de dominância iônica, como resultado da relativa homogeneidade das características geológicas e pedológicas, podem ocorrer diferenças entre bacias em resposta a diversos outros fatores.

No caso dos açudes Pacajus e Gavião deve-se considerar, além da litologia, da composição dominante dos solos das bacias e da contribuição dos aerossóis marinhos, a

influência das transferências hídricas entre os açudes como um dos fatores determinantes para a semelhança nos padrões de dominância iônica, já que os aportes aos reservatórios do SAABRMF dependem, na maior parte do ano, de transferências internas, em detrimento das contribuições dos respectivos rios barrados, significativas somente durante o período de precipitação pluviométrica.

De acordo com HART & McKELVIE (1986), além dos fatores conhecidos e citados exaustivamente na literatura como determinantes para a composição iônica de corpos d'água (alterações climáticas e hidrológicas, composição do solo e cobertura rochosa da bacia de drenagem, fontes atmosféricas, reações de equilíbrio e troca entre sedimento e coluna d'água, interações biota - meio físico, etc.; HUTCHINSON, 1957; GIBBS, 1970; LERMAN, 1978; DREVER, 1982; WETZEL, 1983; STUMM & MORGAN, 1996), a dominância iônica pode mudar como resultado da ocorrência de processos como precipitação e co-precipitação de sais pouco solúveis (ex.: CaCO_3 , MgSO_4); mecanismos particularmente favorecidos em corpos d'água rasos e com elevada salinidade.

O processo de concentração evaporativa em reservatórios pode induzir à precipitação diferencial de sais pouco solúveis de cátions di- e trivalentes, dentre eles o íon Ca^{2+} , presente em concentrações elevadas nas águas dos açudes Pacajus e Gavião. Esse mecanismo pode causar alterações nas proporções iônicas e, em casos extremos, nos padrões de dominância.

DAY (1993) afirmou que a precipitação diferencial de CaCO_3 e CaSO_4 induzida pelo processo de concentração evaporativa foi o principal mecanismo responsável pelas alterações nas proporções iônicas observadas em lagos salinos africanos.

Os gradientes longitudinais de íons Ca^{2+} observados nos dois açudes resultaram, provavelmente, da ação de diferentes mecanismos entre os compartimentos horizontais.

Na zona superior do açude Pacajus, a precipitação química do CaCO_3 durante o período de aporte pode ser apontada como principal mecanismo seqüestrante de íons Ca^{2+} , já a reserva alcalina é significativamente aumentada em razão das contribuições alóctones.

Os gradientes longitudinais de íons Ca^{2+} observados nos dois açudes resultaram, provavelmente, da ação de diferentes mecanismos entre os compartimentos horizontais.

Na zona superior do açude Pacajus, a precipitação química do CaCO_3 durante o período de aporte pode ser apontada como principal mecanismo seqüestrante de íons Ca^{2+} , já a reserva alcalina é significativamente aumentada em razão das contribuições alóctones.

No entanto, segundo (STUMM & MORGAN, 1996), a precipitação química de CaCO_3 a partir de uma solução supersaturada em uma velocidade apreciável dependerá da atuação de fatores termodinâmicos e cinéticos

De acordo com STUMM & MORGAN (1996), a ocorrência do processo de nucleação homogênea é pouco provável em águas naturais, onde as partículas em suspensão atuam como sítios ativos de crescimento de cristais de CaCO_3 num processo conhecido como nucleação heterogênea (SALMASO & DECET, 1998).

SALMASO & DECET (1998) afirmaram que o aumento da saturação de calcita (CaCO_3) no lago Garda durante o verão (Norte da Itália) deveu-se à combinação de dois fatores: i) elevadas temperaturas, e ii) maiores taxas fotossintéticas do fitoplâncton, as quais resultaram na depleção do CO_2 livre e na elevação dos valores de pH das águas do lago.

O papel das células do fitoplâncton no processo de nucleação de partículas de CaCO_3 tem sido sugerido por observações indiretas de material particulado contendo cristais de calcita associados a células algais coletado em armadilhas para sedimento (KELTS & HSÜ, 1978; STABEL, 1986).

HARTLEY *et al.* (1996, 1997) observaram a formação de agregados de células algais e cristais de calcita em experimentos de laboratório.

As perdas de íons Ca^{2+} e carbono inorgânico induzidas pela atividade fotossintética do fitoplâncton na zona trofotônica de lagos têm influência direta sobre o metabolismo desses ecossistemas através da coprecipitação de nutrientes essenciais, como o fósforo, e pela remoção de compostos húmicos e outras substâncias orgânicas seqüestráveis por adsorção (WETZEL, 1983).

Nos açudes Pacajus e Gavião, apesar dos elevados valores de alcalinidade total registrados durante todo o ano, a descalcificação biológica induzida pela atividade fotossintética do fitoplâncton, constitui-se, provavelmente, no principal mecanismo de seqüestro de íons Ca^{2+} da coluna d'água dos reservatórios. Neste caso, as células algais funcionariam como sítios ativos de crescimento de cristais favorecendo, cineticamente, a precipitação de CaCO_3 .

Nos açudes Pacajus e Gavião, apesar dos elevados valores de alcalinidade total registrados durante todo o ano, a descalcificação biológica induzida pela atividade fotossintética do fitoplâncton, constitui-se, provavelmente, no principal mecanismo de seqüestro de íons Ca^{2+} da coluna d'água dos reservatórios. Neste caso, as células algais

funcionariam como sítios ativos de crescimento de cristais favorecendo, cineticamente, a precipitação de CaCO_3 .

Em reservatórios do semi-árido, submetidos a elevadas taxas de evaporação durante boa parte do ano, resultando em déficits hídricos consideráveis, especialmente em anos secos consecutivos, as variações espaço-temporais na salinidade podem provocar mudanças nas proporções iônicas e, em casos extremos, no padrão de dominância.

Mudanças nas proporções iônicas também podem ocorrer devido a alterações nos padrões de uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, incluindo atividades de mineração, agricultura e industriais, além de processos erosivos, os quais podem alterar, direta ou indiretamente, a composição iônica através da maior entrada de sais ou da introdução de minerais secundários (ex. argilas) ou outros materiais com capacidade de complexação, adsorção ou precipitação de íons dissolvidos.

Portanto, a determinação da composição iônica majoritária de reservatórios, bem como da sua variação espaço-temporal, além de servir para fins de caracterização limnológica, pode ser usada para inferências acerca da influência de mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água armazenada e, conseqüentemente, sobre possíveis mudanças no padrão de dominância e proporções iônicas.

8.4. Variação Espaço-temporal do pH e Condições de Oxigenação da Coluna d'água

No açude Pacajus, a redução nas concentrações de OD na zona superior do reservatório durante o período de aporte das águas do rio barrado foi creditada à interferência do material em suspensão sobre a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e, conseqüentemente, sobre a atividade fotossintética do fitoplâncton, principal responsável pela supersaturação em OD observada no período seco imediatamente anterior na mesma região do açude.

Vale salientar que a limitação da atividade fotossintética do fitoplâncton pela luz dá-se não somente pela atenuação da radiação, mas também por alterações espectrais resultantes de complexas interações com a miscelânea de substâncias dissolvidas e particuladas que chegam ao reservatório durante o período chuvoso.

A turbulência causada pela entrada das águas do ecossistema lótico barrado também deve ter contribuído para o aumento da concentração de material em suspensão na coluna d'água através da ressuspensão do sedimento de fundo e, conseqüentemente, interferido com a disponibilidade de RFA na região fluvial do reservatório.

No entanto, em virtude do elevado tempo de residência, o efeito dos pulsos hidrológicos tornou-se maior na região imediatamente receptora, à medida que perdeu energia ao longo do eixo longitudinal. A dissipação da energia na direção rio-barragem contribuiu para a manutenção das boas condições de oxigenação da região lacustre do açude Pacajus durante o período de estudo.

Na região lacustre (PJ03) e no canal artificial (pontos PJ01 e PJ02) que liga o reservatório à EB-1, regiões menos sujeitas aos efeitos dos pulsos de material em suspensão durante a época de aporte, os principais condicionantes da subsaturação de OD observada durante a época chuvosa foram os fatores climáticos, representados particularmente pela maior nebulosidade e, conseqüentemente, menor disponibilidade de radiação solar. A Figura 136 mostra a variação diária da intensidade da Radiação Solar Incidente (R_s) para o período de estudo, estimada de acordo com ALLEN *et al.* (1998).

Figura 136- Simulação da variação diária da intensidade da Radiação Solar Incidente (R_s) durante o período de estudo.

Os maiores gradientes verticais notados na região intermediária do açude Pacajus resultaram da demanda de OD durante os processos de decomposição da fitomassa inundada, como ratificado pelas maiores concentrações de CO_2 nessa região do reservatório, especialmente no terço inferior da coluna d'água.

O decaimento da vegetação inundada quando do barramento do rio Piemam (Tasmânia) foi apontado por BOWLING & TYLER (1990) como responsável pela permanência de anoxia hipolimnética no Lago Barrington.

A decomposição da vegetação remanescente foi apontada como a principal causa da ocorrência de déficits hipolimnéticos e evolução de substâncias de natureza reduzida em represas da região amazônica (MELACK & FISCHER, 1983; GUNKEL *et al.*, 2003).

A presença de vegetação parcialmente submersa deve ter atuado como barreira física à ação de mistura vento-induzida, contribuindo para os maiores gradientes térmicos verticais e manutenção de déficits de OD de fev. a jun./1999 na região intermediária do açude Pacajus.

BOLAND & GRIFFITHS (1995) afirmaram que déficits hipolimnéticos de OD em reservatórios são favorecidos por condições de estabilidade física da coluna d'água, condição limitante à mistura das águas de profundidade com as do epilímnio, oxigenadas pela atividade fotossintética e trocas gasosas na interface água-atmosfera.

NOGUEIRA, HENRY & MARICATO (1999) identificaram uma “zona de sedimentação ativa” na represa de Jurumirim (São Paulo). Essa zona esteve localizada na região de transição e foi caracterizada por oxiclina bem definidas e anoxia junto ao fundo da coluna d’água. O consumo de OD foi atribuído aos processos de decomposição do material alóctone, incluindo sedimentos e matéria orgânica em vários estados de agregação, que provavelmente flocularam e precipitaram nessa região do reservatório.

As boas condições de oxigenação das regiões lacustres dos açudes Pacajus e Gavião durante o período de estudo, inclusive na época chuvosa, foram favorecidas tanto pelas peculiaridades ambientais do entorno das mesmas, caracterizando-as como zonas abertas à ação dos ventos, como pela atenuação dos pulsos de material em suspensão ao longo de gradientes hidráulicos longitudinais.

Esta constatação reforçou a hipótese de interferência da vegetação remanescente sobre a oxigenação da coluna d’água da região intermediária do açude Pacajus, representada pelo ponto PJ04, onde foram observados oxiclina bem marcadas durante praticamente todo o ano.

A supersaturação da coluna d’água dos açude Pacajus e Gavião durante a maior parte do segundo semestre deveu-se, além da contribuição da atividade fotossintética do fitoplâncton, à ação dos fortes ventos no processo de mistura turbulenta e, conseqüentemente, na redistribuição do OD produzido nas respectivas zonas trofогênicas.

TOWNSEND (1999) afirmou que os padrões de variação sazonais de OD em reservatórios tropicais diferem daqueles encontrados em regiões temperadas em virtude da maior susceptibilidade das águas quentes tropicais à depleção de oxigênio. Por outro lado, a elevada produtividade primária fitoplanctônica normalmente observada nos trópicos favorece a supersaturação da zona trofогênica (TOWNSEND, 1999).

TORREZ-OROZCO, IMÉNEZ-SIERRA & PÉREZ-ROJAS (1996) atribuíram a oxigenação do hipolímnio da lagoa del Zacata – México ao processo de mistura turbulenta favorecido pela ação dos ventos e pequena profundidade média do corpo d’água.

As características morfométricas do lago Murchison – Tasmânia, um ecossistema aquático sinuoso e bem protegido da ação dos ventos, especialmente nas proximidades da barragem, contribuíram decisivamente para o estabelecimento de estratificação térmica e química (BOWLING & TYLER, 1990).

A ausência de estratificação térmica estável nos açudes Pacajus e Gavião aliada à pequena $z_{\text{méd}}$ e à suavidade do relevo dos reservatórios favoreceram o processo de mistura turbulenta da coluna d'água, suavizando os gradientes verticais de OD e pH, especialmente nas regiões abertas à ação do vento.

A semelhança entre os arranjos das isolinhas de pH e OD ao longo da direção rio-barragem nos dois reservatórios revelou estreita relação entre essas variáveis. Na zona trofогênica, o aumento dos valores de pH foi causado pela atividade fotossintética do fitoplâncton através do deslocamento do equilíbrio do sistema $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ na direção dos íons carbonato, concomitantemente à produção de OD durante a síntese de matéria orgânica nova. Na zona trofолítica, a depleção do OD durante os processos de decomposição mediados pela microbiota heterotrófica, resultou na diminuição dos valores de pH através da produção de substâncias reduzidas de caráter ácido.

Apesar de não ter sido realizado qualquer procedimento de especiação química com o objetivo de identificar os produtos de decomposição gerados, os maiores gradientes verticais de pH observados na região não-desmatada do açude Pacajus suscitaram a hipótese de evolução de ácidos orgânicos de força moderada ou fraca e ainda de ácidos minerais fracamente ionizáveis, como o ácido sulfídrico (H_2S).

Entretanto, apesar da geração de produtos de natureza ácida, os valores de pH estiveram acima de 7,0 em todo o reservatório, revelando a capacidade tamponante das águas do açude Pacajus. Esta peculiaridade, também notada no açude Gavião, foi responsável pela suavização dos gradientes longitudinais e verticais de pH em comparação aos correspondentes de OD, com a manutenção dos valores na faixa neutro-alcalina.

A natureza tamponante das águas dos reservatórios foi atribuída ao sistema tampão $\text{CO}_3^{2-}\text{-HCO}_3^-$, em especial ao íon bicarbonato, HCO_3^- , fração do carbono inorgânico dissolvido dominante na faixa de pH registrada, embora tenham sido detectadas concentrações significativas de íons CO_3^{2-} , principalmente nas regiões fluvial e lacustre dos reservatórios.

A principal fonte de carbono inorgânico aos açudes foi o aporte alóctone através da lavagem do solo e cobertura rochosa das respectivas bacias de drenagem durante o período de aporte.

No período chuvoso, além da atividade fotossintética do fitoplâncton, a hidrólise química dos íons HCO_3^- constitui-se também em importante mecanismo de elevação do pH

nas águas dos reservatórios, já que as condições climáticas e os pulsos hidrológicos, especialmente sentidos na região fluvial do açude Pacajus, tornam-se fatores controladores do crescimento do fitoplâncton, minimizando sua influência sobre o deslocamento do equilíbrio do sistema tampão CO_3^{2-} - HCO_3^- .

A contribuição alóctone para o aumento da reserva de carbono inorgânico dos açudes Pacajus e Gavião durante o período chuvoso foi evidenciada pelas maiores medianas de alcalinidade total em fev. e abr./1999 (Figura 137), quando comparadas àquela de dez./1998, mês correspondente ao final do período seco imediatamente anterior. No açude Pacajus, essa situação foi bem caracterizada pelos valores máximos de alcalinidade total registrados no ponto PJ06 (região fluvial) em abr. e jun./1999 (2,11 e 2,33 meqCaCO₃/L, respectivamente).

Figura 137- Medianas, percentis e valores máximos e mínimos mensais de Alc. total entre Dez./1998 e Nov./1999 nos açudes (a) Gavião e (b) Pacajus.

No açude Gavião, em razão do amortecimento dos pulsos de chuva pela área alagada localizada na zona de desembocadura do rio barrado, a região fluvial pareceu ser menos influenciada pelos pulsos hidrológicos em comparação ao açude Pacajus. O ponto GA01, localizado na região fluvial do reservatório, apresentou valores mínimos de alcalinidade total durante o período chuvoso (fev./1999: 1,51 meq CaCO₃.L⁻¹ e abr./1999: 1,42 meq CaCO₃.L⁻¹), em contraste com valores de pH tão altos quanto 8,7 (fev./1999) e 9,0 (abr./1999). Este resultado suscitou a hipótese de depleção do carbono inorgânico pela comunidade fitoplanctônica nessa região durante o período chuvoso, comportamento antagônico ao observado no açude Pacajus.

Apesar da hidrólise química dos íons HCO_3^- constituir-se num importante mecanismo regulador do pH das águas dos açudes investigados, principalmente nas zonas de influência direta dos tributários, a assimilação do CO_2 livre pelo fitoplâncton com a subsequente

hidrólise dos íons HCO_3^- parece ser o principal mecanismo regulador do pH na zona trofotônica dos açudes.

TAFFAS *et al.* (1999) atribuíram os elevados valores de pH epilimnéticos observados no Lago Trichonis (Grécia) durante o verão à intensa atividade fotossintética do fitoplâncton.

Durante o período seco, quando as contribuições externas foram consideradas nulas, a magnitude dos valores de pH foi função principalmente das interações complexas da biota residente com o meio físico através dos processos de produção e decomposição, dominantes em diferentes estratos da dimensão vertical. A mesma consideração é válida em relação ao OD, somando-se ao equilíbrio consumo-produção, a contribuição a partir da atmosfera através do processo de oxigenação vento-induzida.

No açude Pacajus, os valores máximos de OD ($12,00 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$) e pH (9,28) observados no ponto PJ06 em dez./1998, estiveram associados à concentração máxima de clorofila *a* nas águas do reservatório ($256 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Apesar de não ter sido realizado estudo específico de determinação da estrutura da comunidade fitoplanctônica, a elevada biomassa algal e os aspectos visuais da água (aspecto turvo, com coloração extremamente esverdeada) da região fluvial do açude Pacajus nessa época do ano sugeriram excessivo crescimento fitoplanctônico. Essa condição foi caracterizada também pelo máximo de turbidez (380 UNT) e menor valor de z_{DS} (7 cm) durante o período de estudo.

Em dez./1998, o excessivo crescimento algal no ponto PJ06 resultou no valor mínimo de alcalinidade total nas águas do açude Pacajus: $0,65 \text{ meqCaCO}_3/\text{L}$. A relação inversa entre carbono inorgânico e biomassa algal também foi bem caracterizada no ponto PJ05, para o qual a análise de regressão linear entre as variáveis alcalinidade total e clorofila *a* retornou um coeficiente de determinação significativo ($r: -0,9364$; $p: 0,006$).

SALMASO & DECET (1998) observaram que as maiores variações na concentração de carbono inorgânico total no Lago Garda (Norte da Itália) se deram nas camadas superiores da coluna d'água, sendo atribuídas principalmente à queda nas concentrações de HCO_3^- durante os meses mais quentes. Na faixa de pH comumente registrada nas águas do lago, essa fração do carbono inorgânico dissolvido foi a mais abundante, correspondendo a 95-98% do total. Mudanças nos valores de condutividade elétrica foram atribuídas a variações nas concentrações dos íons Ca^{2+} e HCO_3^- ($r: 0,91$ e $r: 0,86$, respectivamente), os quais representaram de 40 a 43% e de 31 a 34% do total da soma de íons, respectivamente. Juntos, os dois íons dominantes contribuíram com cerca de 80 a 85% para a salinidade do lago.

Segundo SALMASO & DECET (1998), em lagos de águas duras, como o lago Garda, uma das causas dos gradientes salinos observados é a alteração nas concentrações de CO_2 e CaCO_3 , direta ou indiretamente dependente da assimilação pelo fitoplâncton na zona trofotônica e da atividade heterotrófica ao longo da coluna d'água. Os mesmos pesquisadores afirmaram que a diminuição do CO_2 livre nos meses mais quentes deveu-se à atividade fotossintética algal e em uma extensão limitada à diminuição da sua solubilidade com o aumento da temperatura da água. Ao contrário, a contínua oxidação da matéria orgânica sedimentada e a incompleta homogeneização da coluna d'água determinaram uma constante e grande supersaturação das águas hipolimnéticas em CO_2 .

Sazonalmente, a dinâmica do OD nas águas dos açudes Pacajus e Gavião foi condicionada por mudanças nas condições climáticas dominantes de cada período amostrado, em especial pelas condições de nebulosidade e regime de ventos.

Durante o período chuvoso, as condições de subsaturação observada nos dois açudes, especialmente no Pacajus, deveram-se à interferência de fatores climáticos, particularmente da maior nebulosidade, sobre a disponibilidade de radiação solar incidente e, conseqüentemente, sobre a atividade fotossintética do fitoplâncton, principal mecanismo de oxigenação das águas dos reservatórios nessa época do ano.

No segundo semestre, além da contribuição efetiva da atividade fotossintética fitoplânctônica para a oxigenação da zona trofotônica dos açudes, a mistura turbulenta vento-induzida deve ter atuado como um dos principais mecanismos de oxigenação das águas dos reservatórios. A importância do vento como principal forçante externa atuante na redistribuição do OD ao longo da coluna d'água foi ratificada pela observação de condições de supersaturação além dos limites da z_{eu} nos dois açudes nessa época do ano.

Durante o período chuvoso, os gradientes longitudinais de OD no açude Pacajus deveram-se principalmente à ação diferenciada dos pulsos de material em suspensão sobre os compartimentos horizontais do reservatório. Na zona superior do açude, a queda nas concentrações de OD em relação ao período seco anterior foi creditada à interferência da elevada turbidez sobre a disponibilidade de RFA e, conseqüentemente, sobre a fotossíntese do fitoplâncton, caracterizando essa região do reservatório como luz-limitada.

A presença de uma zona de decomposição e sedimentação na região de transição do açude Pacajus, onde foram observadas concentrações típicas de anoxia durante praticamente

todo o ano, contribuiu para a acentuação dos gradientes longitudinais de OD no sentido rio-barragem.

No açude Gavião, devido à menor influência do regime hidrológico sobre as características físicas e químicas da região fluvial do reservatório, os gradientes longitudinais de OD deveram-se principalmente à entrada de águas menos oxigenadas provenientes do subsistema Pacoti-Riachão, dando origem a uma zona de transição entre as regiões fluvial e lacustre, mais oxigenadas.

8.5. Biomassa Algal e Grau de enriquecimento dos reservatórios

i) Nutrientes

O efeito de enriquecimento das águas dos reservatórios durante o período de aporte foi mais evidente no açude Pacajus, quando foram registradas medianas de PID , $\text{NH}_{3,4}$ e NO_3^- superiores às do período seco anterior (dez./1998). As contribuições a este reservatório durante o período chuvoso deveram-se, principalmente, às águas do Rio Choró, ecossistema lótico receptor de grande carga poluidora ao longo do seu curso, proveniente principalmente do lançamento de esgoto doméstico bruto. Este quadro é resultante da precariedade ou ausência de sistemas de coleta, tratamento e disposição dos efluentes produzidos pelos núcleos urbanos ribeirinhos.

A fertilização das águas do açude Pacajus pelas águas do Rio Choró durante o período chuvoso foi mais intensa na região fluvial do reservatório, onde foram registradas concentrações máximas de PID , $\text{NH}_{3,4}$ e NO_3^- nesta época do ano.

A suavização dos gradientes longitudinais em direção à região lacustre do açude foi favorecida pelo elevado tempo de residência, característica que contribui para a atenuação dos pulsos, protegendo as regiões a montante dos efeitos das cargas alóctones. De acordo com SOBALLE & THRELKELD (1985), a influência de correntes advectivas sobre as zonas inferiores de reservatórios de fluxo lento é insignificante, ao contrário daqueles com baixos tempos de residência, onde os fatores hidrodinâmicos assumem grande importância sobre o metabolismo do ecossistema.

Além do elevado tempo de residência, o efeito de diluição em direção à região lacustre, a assimilação biológica e a sedimentação do material em suspensão ao longo de um gradiente de fluxo podem ser apontados como fatores atenuadores dos gradientes longitudinais de nutrientes inorgânicos dissolvidos no açude Pacajus.

No açude Gavião, o efeito de enriquecimento das águas do reservatório pelas águas afluentes do Rio Cocó, seu principal tributário, durante o período de aporte foi atenuado pela entrada de águas menos enriquecidas provenientes do subsistema Pacoti-Riachão, dando origem a uma região intermediária, correspondente ao ponto GA02, com estado trófico inferior às regiões fluvial e lacustre. Vale salientar que a entrada das águas com menor força iônica e turbidez provenientes do subsistema Pacoti-Riachão se dá logo a jusante do ponto GA01, localizado na região fluvial do açude.

Neste caso, o efeito de diluição foi preponderante ao efeito de carga, já que o volume de transposição proveniente do subsistema Pacoti-Riachão foi consideravelmente superior àquele das águas do Rio Cocó durante o biênio 1998-99.

A presença de uma área alagada na região fluvial do açude Gavião atuou, provavelmente, como uma zona de tamponamento, atenuando os pulsos típicos do período chuvoso e, conseqüentemente, o efeito de fertilização que as águas enriquecidas do Rio Cocó teriam sobre o sistema receptor.

Áreas alagadas naturais têm sido apontadas como sistemas redutores de carga através de mecanismos de transformação que têm lugar no sedimento e na interface com a coluna d'água adjacente (HAMMER & BASTIAN, 1989; WETZEL, 1983; MITSCH & GOSSELINK, 2000; VYMAZAL, 2001; LANE *et al.*, 2003; GRIETHUYSEN, *et al.*, 2005).

O sedimento de áreas alagadas tem sido apontado como matriz ativa nos processos de transformação e aprisionamento que resultam na redução da carga poluidora a ecossistemas aquáticos (SOTO-JIMENEZ, PAEZ-OSUNA, BOJORQUEZ-LEYVA, 2003; LANE *et al.*, 2003).

Também no caso do açude Gavião, a suavização dos gradientes longitudinais de nutrientes inorgânicos dissolvidos em direção à região lacustre foi favorecida, além do efeito de diluição causado pela entrada de águas menos enriquecidas e com menor força iônica provenientes do subsistema Pacoti-Riachão, pelo elevado tempo de residência do açude.

O aumento das concentrações de PID nas águas dos açudes Pacajus e Gavião em ago./1999, mês inserido no período seco, suscitou a hipótese de carga interna de fósforo através da ressuspensão dos sedimentos de fundo, já que nesta época do ano as contribuições alóctones são sobremaneira minimizadas.

A ressuspensão dos sedimentos de fundo, mecanismo freqüentemente observado em lagos e reservatórios rasos e com relevo da área de entorno favorável à ação de mistura vento-induzida, pode influenciar diretamente o clima da radiação subaquática e a regeneração interna de nutrientes (COLE & HANNAN, 1990; KNUUTTILA, PIETILAINEN, KAUPPI, 1994; CRISTOFOR *et al.* 1994; IGNATIEVA, 1996; RAMM & SCHEPS, 1997; SAKAI *et al.*, 2002), provocando alterações na produtividade e crescimento do fitoplâncton (MACEINA & SOBALLE, 1990; HELLSTROM, 1991; CARRICK; ALDRIDGE; SCHLSKE, 1993).

A carga interna de nutrientes induzida pela ressuspensão dos sedimentos tem sido apontada como principal fator controlador do estado trófico de reservatórios eutróficos e hipereutróficos após a redução das cargas externas (ROSSI & PREMAZZI, 1991; PERROW, MOSS e STANFIELD, 1994; KAO, LIN e TSAI, 1998).

SAKAI *et al.* (2002) concluíram que a mistura turbulenta da coluna d'água do Lago Biwa (Japão) induziu a formação de ondas internas responsáveis pelo deslocamento da termoclina e ressuspensão dos sedimentos de fundo.

A ressuspensão de sedimentos superficiais altera significativamente a composição química da coluna d'água de lagos e reservatórios, já que este compartimento encerra concentrações de nutrientes e substâncias reduzidas muito superiores às daquelas da coluna d'água adjacente (PIERSON & WEYHENMEYER, 1994).

Segundo ROBERTS *et al.* (1998) e SAKAI *et al.* (2002), apesar da mistura das águas epilimnéticas com águas inferiores ricas em fósforo provocar fertilização e, portanto, constituir-se em fator controlador do crescimento do fitoplâncton, especialmente quando há limitação por este elemento, sua assimilação dependerá das formas de fósforo disponíveis na coluna d'água.

A carga interna de nutrientes a partir da ressuspensão dos sedimentos de fundo em reservatórios é particularmente importante nas zonas afastadas dos pontos de recepção dos pulsos e influência direta de correntes advectivas de fertilização. Nestas regiões, a disponibilização de recursos torna-se mais dependente dos processos internos de regeneração.

NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO (1999) constataram a importância dos mecanismos de regeneração interna sobre a dinâmica de nutrientes essenciais nas águas do reservatório Jurumirim (São Paulo, Brasil) durante o período de estiagem, quando a coluna d'água apresentou-se termicamente instável.

Situação semelhante foi observada em ago./1999 nos açudes Gavião e Pacajus, quando a estrutura térmica vertical dos açudes Pacajus e Gavião foi caracterizada pela isoterмия.

A hipótese de ocorrência de ressuspensão dos sedimentos de fundo nos açudes Pacajus e Gavião em ago./1999 foi reforçada pela observação dos perfis verticais de algumas variáveis físicas e químicas, as quais apresentaram incremento em direção ao fundo da coluna d'água, como foi o caso da turbidez, $\text{NH}_{3,4}$ e PID. Este comportamento foi verificado inclusive nas regiões mais profundas dos reservatórios.

No açude Pacajus, além da contribuição da ressuspensão dos sedimentos de fundo para a fertilização interna do reservatório, o acúmulo e posterior liberação de $\text{NH}_{3,4}$ gerado durante os processos de estabilização da fitomassa inundada e da biomassa de macrófitas em decaimento, contribuiu sobremaneira para as elevadas concentrações observadas na região intermediária em ago./1999. Neste mês, a mistura turbulenta da coluna d'água favoreceu a mistura das águas hipolimnéticas, anóxicas e com elevadas concentrações de $\text{NH}_{3,4}$, com as águas superiores, criando uma zona diferenciada entre as regiões fluvial e lacustre.

No entanto, deve-se salientar que a maior contribuição de $\text{NH}_{3,4}$ ao açude Pacajus deveu-se às cargas alóctones através do Rio Choró durante o período chuvoso, principal coletor de drenagem e receptor de carga orgânica poluidora proveniente do lançamento direto de esgoto doméstico bruto.

No açude Gavião, a ressuspensão dos sedimentos de fundo na zona lacustre do reservatório pode ter sido favorecida pela turbulência da coluna d'água causada pelo sistema de bombeamento instalado nas proximidades da barragem a partir de jun./1999 (Figura 138), com o objetivo de alimentar a ETA-Gavião, já que nesta época do ano o baixo nível das águas não permitiu a alimentação por gravidade, como geralmente acontece.

Em adição, deve-se considerar a contribuição proveniente da excreção pelo zooplâncton e peixes, processo que assume maior importância durante o período de estiagem, quando a carga externa aos açudes é minimizada.

A predominância da forma iônica do nitrogênio amoniacal (NH_4^+) nas águas dos açudes Pacajus e Gavião deveu-se, provavelmente, às condições físicas da coluna d'água, caracterizadas por elevadas temperaturas e valores de pH situados na faixa neutro-alcalina. Estas condições favorecem o deslocamento do equilíbrio do sistema $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$ na direção da forma ionizada, prontamente assimilável pelo fitoplâncton em detrimento da forma molecular (NH_3), potencialmente tóxica para os organismos aquáticos (McCARTHY, TAYLOR e TALF, 1977; ENRICH-PRAST, 2005).

Apesar de elevadas durante todo o período de estudo, as concentrações de $\text{NH}_{3,4}$ permaneceram abaixo do valor máximo admissível recomendando pela Resolução CONAMA N°. 357 para corpos d'água lênticos de água doce enquadrados na Classe 2 (BRASIL, 2005): $1,0 \text{ mg N L}^{-1}$ para $8,0 < \text{pH} < 8,5$ e $2,0 \text{ mg N L}^{-1}$ para $7,5 < \text{pH} < 8,0$.

Em dez./1998, mês correspondente ao final do período seco, as baixas concentrações de PID e NO_3^- , freqüentemente abaixo dos respectivos limites de quantificação, deveram-se principalmente à assimilação pelo fitoplâncton, já que o baixo nível d'água dos reservatórios excluiu a hipótese de diluição. Nesta época do ano, as concentrações de clorofila *a* atingiram valores elevados em praticamente todos os pontos amostrados, com exceção do ponto GA02 no açude Gavião, e dos pontos PJ01 e PJ02, no Pacajus.

Figura 138- Sistema de bombeamento auxiliar instalado nas proximidades do ponto de captação da ETA-Gavião.

De acordo com ESTEVES (1998), a assimilação de nutrientes essenciais dissolvidos em lagos tropicais é favorecida pelas elevadas temperaturas normalmente observadas nestes ambientes, fator cinético indutor de maiores taxas metabólicas - condição que pode reduzir as concentrações para níveis abaixo dos limites de quantificação dos métodos analíticos.

Em relação ao PID, outros processos podem ter atuado sinergicamente na redução das suas concentrações nas águas dos açudes Pacajus e Gavião, destacando-se os mecanismos de coprecipitação e precipitação química na forma de sais pouco solúveis.

A ocorrência destes mecanismos de seqüestro de fósforo está condicionada a alterações nas propriedades físicas e químicas da coluna d'água, especialmente mudanças de pH, força iônica e concentrações de cátions formadores de sais poucos solúveis com os íons PO_4^{3-} , como os íons Ca^{2+} .

No caso dos açudes investigados, apesar das condições físicas e químicas da coluna d'água, caracterizadas principalmente pelos elevados valores de pH, força iônica e dureza, favorecem termodinamicamente a formação de sais pouco solúveis de PO_4^{3-} , especialmente de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ou da sua forma hidratada (hidroxiapatita), as perdas de fósforo por coprecipitação com o CaCO_3 biogenicamente produzido na zona trofогênica é o mecanismo mais aceito de abstração de PID da coluna d'água dos reservatórios.

De acordo com WETZEL (1983), o processo de descalcificação biológica induzido pela atividade fotossintética do fitoplâncton na zona trofогênica de lagos pode influenciar a disponibilidade de fósforo assimilável pela redução de suas concentrações através de adsorção e coprecipitação com os cristais de CaCO_3 .

Desta forma, os gradientes espaciais de PID observados nos açude Pacajus e Gavião foram resultantes não somente dos processos de assimilação biológica e dos efeitos de diluição/concentração, mas também das flutuações na ocorrência e magnitude do mecanismo de coprecipitação entre as diferentes zonas dos reservatórios.

A elevada biomassa algal deve ter contribuído para a formação de cristais de CaCO_3 na faixa de pH observada nos açudes através do mecanismo de nucleação heterogênea, com as células do fitoplâncton atuando como sítios ativos de crescimento.

CEBALLOS (1995) atribuiu a depleção de P-orto na coluna d'água de três reservatórios do semi-árido paraibano à combinação dos processos de assimilação biológica, diluição e precipitação química sob condições alcalinas.

Apesar dos elevados valores para a razão NID:PID indicarem escassez de fósforo nos açudes Gavião e Pacajus, apontando para este elemento como possível nutriente limitante ao crescimento algal, estudos posteriores baseados em experimentos de enriquecimento *in situ* (HENRY & TUNDISI, 1982, HENRY & TUNDISI, 1983; HENRY, 1986; HENRY, TUNDISI e CURI, 1984; HENRY *et al.*, 1985), bem como no conhecimento das variações na estrutura da comunidade fitoplanctônica em resposta a alterações nas proporções entre N e P podem nortear mais confiavelmente a determinação do nutriente limitante ao crescimento algal nestes sistemas.

Apesar da concentração absoluta de um determinado nutriente constituir-se, na ausência de outros fatores limitantes, em fator preponderante para o crescimento de uma determinada espécie, é importante ressaltar que as espécies possuem habilidades e estratégias diferentes em assimilar nutrientes do meio (REYNOLDS, 1999; HUSZAR *et al.*, 2005).

Além disso, experimentos realizados em laboratório, posteriormente comprovados em estudos de campo, mostraram que as concentrações de nutrientes necessárias ao crescimento são diferentes entre as espécies do fitoplâncton (TILMAN, 1981, TILMAN *et al.*, 1986), resultados semelhantes aos obtidos por RHEE (1978), RHEE & GOTHAM (1980) e GIANI & DELGADO (1998) em experimentos de competição por recursos limitantes utilizando diversas razões N:P.

Portanto, apesar dos resultados baseados no cálculo da razão NID:PID e nas curvas de regressão entre PT e clorofila *a* apontarem o fósforo como possível nutriente limitante ao

crescimento algal nos açudes Gavião e Pacajus, a adoção destes critérios deve ser feita com parcimônia, já que não levam em consideração as respostas espécie-específicas e as estratégias de assimilação e crescimento do fitoplâncton sob condições de escassez de determinado nutriente na coluna d'água. Além disso, deve-se considerar a possibilidade de alternância sazonal de limitação entre diferentes nutrientes em resposta a flutuações nas concentrações causadas por efeitos de cargas externas impostas pelas fontes de poluição pontuais e difusas aos corpos d'água.

No caso do açude Pacajus, a hipótese de limitação pelo nitrogênio, apesar de não poder ser descartada, perde força se levada em consideração a elevada carga orgânica imposta ao seu tributário principal pelo lançamento direto de esgoto doméstico bruto. As elevadas concentrações de $\text{NH}_{3,4}$, especialmente durante o período chuvoso, constitui-se em forte evidência do enriquecimento das águas do reservatório com matéria orgânica de natureza nitrogenada.

Sazonalmente, a dinâmica de nutrientes nos açudes Gavião e Pacajus pode ser caracterizada pela ocorrência de eventos ecológicos dominantes e peculiares a cada período hidro-climático amostrado:

- i) durante o período chuvoso, a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água dos reservatórios foi governada principalmente pela fertilização das águas receptoras causada pela entrada de material alóctone através dos tributários principais.
- ii) na época de estiagem, quando as cargas através dos principais coletores de drenagem tornam-se nulas, a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água dos reservatórios tornou-se dependente principalmente da eficiência dos processos internos de regeneração, favorecidos pelas elevadas temperaturas normalmente observadas, além da carga interna provocada pela ressuspensão vento-induzida dos sedimentos de fundo, os quais normalmente encerram concentrações de nutrientes superiores às daquelas da coluna d'água adjacente. No açude Gavião, deve-se considerar também a possível influência do sistema de bombeamento instalado nas proximidades da barragem a partir de jun./1999 sobre a ressuspensão dos sedimentos de fundo e a conseqüente fertilização da região lacustre do reservatório.

No entanto, vale salientar que no caso dos açudes Gavião e Pacajus, reservatórios com elevados tempos de residência, os processos de regeneração interna de nutrientes assumem papel fundamental na disponibilização de nutrientes durante todo o ano hidrológico.

ii) Biomassa algal

A redução da biomassa algal durante o período chuvoso, quando foram registrados os mínimos de clorofila *a* nos dois reservatórios, pode ser creditada a fatores climáticos e alterações nas propriedades ópticas da coluna d'água.

As alterações na qualidade óptica da coluna d'água durante o período de aporte foram particularmente observadas na região fluvial do açude Pacajus, receptora direta dos pulsos de material em suspensão com as águas afluentes do Rio Choró. Enquanto em dez./1998, a reduzida z_{DS} da coluna d'água foi causada pela elevada biomassa algal ($256,3 \mu\text{g.L}^{-1}$), a reduzida extensão da z_{eu} nesta região do reservatório durante o período chuvoso deveu-se, provavelmente, ao aumento da turbidez abiótica resultante da carga de sedimentos ao açude.

A significativa redução da biomassa algal na região fluvial do açude Pacajus durante o período chuvoso suscitou a hipótese do crescimento fitoplanctônico ser luz-limitado, já que houve aumento na concentração de nutrientes dissolvidos em relação ao período seco anterior (dez./1998), quando as concentrações estiveram, na sua maioria, abaixo dos respectivos limites de quantificação.

A interferência do material em suspensão sobre o crescimento do fitoplâncton em reservatórios se dá tanto de forma indireta, através da atenuação e mudanças na composição espectral da radiação subaquática, mecanismos ópticos que reduzem a disponibilidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA; CALIJURI, 1988, 1999), como diretamente através de lesões da parede celular por estresse mecânico (HERZIG, 1976 apud CALIJURI & DOS SANTOS, 2001).

KEBEDE *et al.* (1994) relataram a interferência negativa da turbidez abiótica sobre a produtividade primária do fitoplâncton em lagos de natureza túrbida localizados no Vale Rift, Etiópia.

GROBBELAAR (1992) constatou interferência do material em suspensão sobre o clima da radiação subaquática e produtividade primária fitoplanctônica em dois reservatórios sul-africanos (Krugersdrift e Mockes). O aumento da turbidez nesses ecossistemas após o período de cheia reduziu drasticamente a transparência da coluna d'água e a produtividade primária fitoplanctônica em comparação ao período anterior, apesar da maior disponibilidade de nutrientes.

CALIJURI (1988) observou drástica redução da transparência da coluna d'água do reservatório de Barra Bonita (São Paulo) durante os pulsos de chuva (de 2,0 m para 30 cm em poucas horas), atribuindo este comportamento à carga de material em suspensão de natureza

predominantemente inorgânica. Segundo a pesquisadora, além de alterações no clima da radiação subaquática, o material em suspensão teve influência sobre a resposta fotossintética e o estado fisiológico das células do fitoplâncton.

No açude Pacajus, em razão principalmente do elevado tempo de residência, as regiões mais afastadas da zona de recepção inicial dos pulsos de vazão tornam-se mais protegidas do efeito de carga de sais dissolvidos e material em suspensão, característica que as tornam mais dependentes dos processos endógenos de regeneração para a manutenção do crescimento do fitoplâncton.

Portanto, esta característica hidráulica deve ter atuado no amortecimento e dissipação dos pulsos ao longo do eixo Rio Choró-barragem, resultando na suavização dos gradientes físicos e químicos em direção à região lacustre do açude.

As pequenas flutuações da biomassa algal na região intermediária do açude Pacajus, inclusive durante o período de aporte, resultaram da manutenção da transparência da coluna d'água e disponibilidade de nutrientes durante todo o período de estudo, inclusive na época chuvosa, quando os pulsos de material em suspensão interferiram com o crescimento do fitoplâncton na região fluvial do reservatório.

KIMMEL, LIND e PAULSON (1990) destacaram que a maior disponibilidade de luz e nutrientes normalmente observada na coluna d'água de regiões de transição em reservatórios de fluxo lento favorecem a produtividade e o crescimento do fitoplâncton. Os pesquisadores destacaram a diminuição da velocidade de fluxo, o maior tempo de residência e a sedimentação de partículas de silte e argila como os principais fatores contribuintes para a melhor qualidade óptica e a disponibilidade de recursos na coluna d'água destas zonas.

Portanto, o amortecimento dos pulsos de material em suspensão ao longo de um gradiente hidráulico no açude Pacajus pode ser apontado como principal fator responsável pela manutenção da qualidade óptica e crescimento do fitoplâncton da região intermediária durante o período chuvoso.

No açude Gavião, além do elevado tempo de residência, a atenuação dos pulsos de material em suspensão pela área alagada localizada na zona de influência direta do Rio Cocó, principal tributário do reservatório, minimizou o efeito da carga de material em suspensão sobre o crescimento do fitoplâncton na região fluvial, resultando em pequena variabilidade da biomassa algal no ponto GA01.

A comunidade de macrófitas aquáticas de áreas alagadas exerce papel fundamental nos processos de transformação e redução de cargas a ecossistemas aquáticos. No caso do material em suspensão, além de atuarem como barreira física (GREGG & ROSE, 1982;

HENRY & NOGUEIRA, 1999; THOMAZ & BINI, 1999; PEDRALLI & TEIXEIRA, 2003), as macrófitas atuam como filtro biológico na transformação do material particulado através principalmente da ação simbiótica com o perifíton (KIRA, 1990; KURATA & KIRA, 1990; ENRICH-PRAST, 2005).

HENRY & NOGUEIRA (1999) atribuíram aos bancos de macrófitas a redução nas velocidades de corrente e as alterações na velocidade de fluxo do trítton nas zonas de desembocadura dos rios Paranapanema e Taquari, principais tributários do reservatório de Jurumirim.

Trabalhos conduzidos na bacia do rio Ibitaré (Minas Gerais) ressaltaram o importante papel das macrófitas aquáticas na retenção de nutrientes, material particulado e sedimentos nutrientes ao córrego Ibitaré, numa região impactada por processos erosivos (PEDRALLI & TEIXEIRA, 2003).

No açude Gavião, apesar das medianas dos meses correspondentes ao período chuvoso não diferirem significativamente daquela do período seco anterior (dez./1998), foram observados, no ponto GA02, localizado na região de recepção direta de águas mais diluídas provenientes do subsistema Pacoti-Riachão, valores mínimos de clorofila *a* (fev./1999: 2,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e abr./1999: 6,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Nessa região do açude, localizada logo a jusante da zona fluvial, a menor biomassa algal resultou do efeito de diluição causado pelo aporte contínuo das águas do subsistema Pacoti-Riachão, com menor estado trófico, durante praticamente todo o período de estudo.

As condições atmosféricas típicas do período chuvoso, caracterizadas principalmente pela maior nebulosidade, devem ter atuado indistintamente nos dois reservatórios, já que se situam em uma região de mesmo domínio climático. A maior cobertura de nuvens e, conseqüentemente, a menor disponibilidade de radiação solar incidente nessa época do ano podem ser consideradas como fatores controladores do crescimento algal nos reservatórios investigados.

Em ago./1999, apesar do aumento nas concentrações de PID nas águas dos açudes Gavião e Pacajus em relação a jun./1999, fato atribuído à carga interna através do mecanismo de ressuspensão vento-induzida dos sedimentos de fundo, houve redução da biomassa algal nos dois reservatórios. Nesse mês, assim como em praticamente todo o segundo semestre, a coluna d'água dos açudes foi caracterizada por isotermia, refletindo um quadro de instabilidade física causada pela ação de mistura turbulenta.

Portanto, diante desta constatação, foi razoável admitir que houve aumento na extensão da zona de mistura, z_{mix} , em relação ao período anterior nos dois reservatórios.

Como em ago./1999 os perfis térmicos denotaram pequenos ou ausência de gradientes verticais, suscitou-se a hipótese de equivalência aproximada entre z_{mix} e $z_{máx}$ ($z_{mix} \cong z_{máx}$).

Nestas condições, quando $z_{mix} > z_{eu}$, as células do fitoplâncton, transportadas continuamente ao longo de um gradiente de luz, podem permanecer durante uma fração de tempo variável do fotoperíodo na zona afótica, z_{af} , situação que pode constituir-se em fator limitante à produtividade e crescimento algais (CALIJURI & DOS SANTOS, 2001).

Segundo KIMMEL, LIND e PAULSON (1990), o aumento da z_{mix} em relação a z_{eu} pode ser considerado um importante fator controlador do crescimento do fitoplâncton em reservatórios bem misturados, quando as células, além de serem submetidas a rápidas flutuações nos níveis de radiação fotossinteticamente ativa, são expostas intermitentemente a condições afóticas. No entanto, o grau de limitação dependerá do tempo de permanência das células em profundidades superiores à z_{eu} e da frequência de recirculação dentro da porção iluminada da coluna d'água (KIMMEL, LIND e PAULSON, 1990; GROBBELAAR, 1992).

A razão $z_{eu}:z_{mix}$ tem importante efeito sobre os níveis de radiação percebidos pelas células fitoplantônicas e, conseqüentemente, sobre sua produtividade primária e biomassa (REYNOLDS 1984; GROBBELAAR 1985, GROBBELAAR 1989, KIMMEL, LIND e PAULSON, 1990; STRASKRABA & TUNDISI 1999; CALIJURI & DOS SANTOS, 2001).

De acordo com NASELLI-FLORES (1999), alterações na extensão da z_{mix} têm influência direta sobre a ecologia do fitoplâncton, especialmente sobre a estrutura e a produtividade da comunidade, já que as necessidades fisiológicas das espécies em relação à disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) são variáveis.

ERIKSON *et al.* (1998) caracterizaram a radiação subaquática como principal fator controlador do crescimento do fitoplâncton na região central do Lago Xolotlán (Nicarágua), quando a $z_{mix} \gg z_{eu}$.

Portanto, a diminuição da razão $z_{eu}:z_{mix}$ nos açudes investigados em ago./1999 pode ser apontada como um dos prováveis fatores controladores do crescimento algal nas águas do reservatórios.

A carga interna de material em suspensão causada pela ressuspensão vento-induzida dos sedimentos de fundo dos açudes Pacajus e Gavião em ago./1999 também pode ter atuado como fator controlador do crescimento do fitoplâncton através da redução da z_{DS} , como observado para a maioria dos pontos amostrados.

Segundo PHLIPS *et al.* (1997), a ressuspensão de sedimentos ricos em matéria orgânica da região central do Lago Okeechobee (Florida, USA) resultou, freqüentemente, na limitação do crescimento do fitoplâncton pela luz.

Lagos rasos, especialmente aqueles com características morfométricas favoráveis à ação física desestabilizadora do vento são particularmente susceptíveis a mudanças no clima da radiação subaquática causadas pela ressuspensão dos sedimentos de fundo (CARPER & BACHMAN, 1983; LIND *et al.*, 1992; TOWNSEND, LUONG-VAN e BOLAND, 1996).

Portanto, a redução da biomassa algal nos açudes Pacajus e Gavião em ago./1999 seria melhor atribuída a um conjunto de fatores interferindo de forma sinérgica sobre a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa do que um fator controlador atuando isoladamente.

Outra consideração a ser feita é acerca das dificuldades em inferir-se sobre a resposta da comunidade fitoplanctônica a um processo de fertilização interna (ressuspensão *vs.* crescimento), já que este tipo de investigação envolveria uma maior frequência de amostragem, além da determinação de alterações na estrutura da comunidade fitoplanctônica.

Segundo CARRICK *et al.* (1993), é possível que ocorra uma fase “lag” entre a ressuspensão dos sedimentos de fundo e o crescimento posterior do fitoplâncton como uma resposta adaptativa das células ao novo ambiente físico e químico resultante.

De acordo com HAVENS *et al.* (1998), as flutuações nos níveis de radiação fotossinteticamente ativa parecem exercer influência não somente sobre o crescimento, mas também sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica em reservatórios.

De modo geral, pode-se afirmar que o açude Pacajus apresentou maior biomassa algal em comparação ao Gavião, inclusive nos meses correspondentes ao final do período seco (dez./1998 e nov./1999), quando foram observadas as maiores medianas de clorofila *a*.

Nessa época do ano, quando as contribuições externas aos açudes Pacajus e Gavião através dos tributários principais foram nulas, a disponibilidade de nutrientes essenciais dissolvidos tornou-se mais dependente da eficiência dos processos de regeneração interna que têm lugar ao longo da coluna d'água, especialmente na zona trofогênica, onde as maiores temperaturas exercem efeito direto sobre as taxas metabólicas, acelerando a disponibilização de nutrientes dissolvidos através da ação catabólica da microbiota heterotrófica. Esses processos são de fundamental importância para a manutenção da produtividade e crescimento do fitoplâncton (WETZEL, 1983; FERREIRA *et al.*, 2005).

A elevada biomassa algal observada em nov./1999 nos dois reservatórios e em dez./1998 no açude Pacajus, quando as concentrações de clorofila *a* estiveram acima do valor máximo admissível recomendado pela Resolução CONAMA N^o. 357 (BRASIL, 2005) para corpos d'água lênticos de águas doces enquadrados na Classe 2 (30,0 µg.L⁻¹), refletiu a

eficiência dos processos de ciclagem interna de nutrientes para a manutenção do crescimento do fitoplâncton nessa época do ano, correspondente ao final do período seco.

Nas zonas mais rasas dos reservatórios, representadas pelos pontos GA01 e PJ06, além da circulação em “curto-circuito”, a disponibilização de nutrientes a partir dos sedimentos de fundo pode ser considerada como importante fator para a manutenção do crescimento do fitoplâncton durante o período de estiagem, quando não ocorre fertilização direta através do aporte dos respectivos rios barrados.

Quanto ao estado trófico, apesar da biomassa algal ter sugerido condições eutróficas nos dois açudes, com tendência à hipereutrofia no Pacajus, estudos futuros na região devem priorizar o conhecimento da estrutura da comunidade fitoplanctônica e as alterações na densidade e composição de espécies ao longo de gradientes tróficos, com o objetivo principal de definir espécies indicadoras como critério qualitativo de avaliação da qualidade da água armazenada.

Além da estrutura da comunidade, a produtividade primária do fitoplâncton é outro importante aspecto a ser considerado em estudos futuros, já que sua estimativa é de fundamental importância para o conhecimento dos processos e mecanismos que controlam a transferência de energia e o ciclo de matéria orgânica em lagos e reservatórios (WETZEL, 1983; CALIJURI, 1988).

De acordo com CALIJURI & DOS SANTOS (2001), em regiões tropicais, mais especificamente no Brasil, a pequena quantidade de informações acerca da produtividade primária fitoplanctônica de reservatórios em escalas de tempo apropriadas, além de dificultar uma real descrição e caracterização desses ecossistemas, inviabiliza a realização de estudos comparativos e preditivo.

8.6. Heterogeneidade Espacial

A principal característica que diferencia reservatórios artificiais de ecossistemas aquáticos lênticos naturais é o controle das vazões de saída pelo regime operação adotado, o qual define condições hidrodinâmicas particulares que, juntamente com forçantes naturais, podem induzir a um certo grau de heterogeneidade na distribuição de recursos e, conseqüentemente, na distribuição espacial das comunidades (TUNDISI, 1988; STRASKRABA, TUNDISI e DUNCAN, 1993).

Segundo STRASKRABA & TUNDISI (1999), as alterações nas características hidrodinâmicas constituem-se no principal fator responsável pela ocorrência de variabilidade horizontal na maior parte dos reservatórios. No entanto, eventos sazonais podem tornar a estrutura espacial de reservatórios mais complexa, vertical e horizontalmente (NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO, 1999).

A heterogeneidade espacial é uma das principais condicionantes da estrutura ecológica e funcionamento de reservatórios. Segundo NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO (1999), os gradientes físicos, químicos e biológicos normalmente encontrados ao longo da dimensão longitudinal de reservatórios podem dar origem a compartimentos dinâmicos e ecologicamente diferenciados.

HEJZLAR & STRASKRABA (1989) afirmaram que explicações e generalizações acerca da distribuição horizontal de variáveis limnológicas em reservatórios só terão validade se considerados a hidrodinâmica, os padrões de mistura, além da variabilidade temporal do tempo de residência.

A magnitude e alterações no tempo de residência em reservatórios estão estreitamente associadas aos regimes hidrológicos e de operação, sendo esse último dependente das demandas setoriais regionais. O tempo de residência é uma das variáveis-chaves na determinação da compartimentalização de reservatórios, já que exerce forte influência sobre as taxas de sedimentação do material em suspensão, produção e decomposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes; fatores que favorecem o estabelecimento de gradientes abióticos e bióticos, com os últimos representados principalmente pela variabilidade na organização das comunidades ao longo de gradientes tróficos (ARMENGOL, 1990; THORNTON *et al.*, 1990; STRASKRABA, TUNDISI e DUNCAN, 1993; NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO, 1999; STRASKRABA, 1999; DOS SANTOS, 2003).

THORNTON *et al.* (1990) definiram três compartimentos dinâmicos e ecologicamente diferenciados em reservatórios: zonas fluvial, intermediária e lacustre. Segundo HENRY & MARICATO (1996), essas regiões apresentam diferentes características com relação aos regimes térmicos e de luz, composição química, densidade e abundância das comunidades planctônicas e bentônicas, e intensidade dos processos (ex. produtividade primária, taxas de sedimentação).

A extensão de cada compartimento horizontal varia e é dependente das características morfométricas, tempo de residência, regime térmico da coluna d'água, além da localização geográfica e sazonalidade do clima local (STRASKRABA, 1999). No entanto, apesar de teoricamente bem definidas ao longo de um continuum rio-barragem, estas zonas não se constituem em fronteiras estáticas, sendo melhor entendidas como resultantes da sobreposição de gradientes ao longo de um eixo longitudinal, e susceptíveis a contração e expansão em resposta a alterações no regime hidrológico e rotinas de operação (THORNTON *et al.*, 1990).

Portanto, a dependência desses fatores pode tornar a compartimentalização de reservatórios função da variabilidade intra- e interanual dos regimes de vazão de entrada e saída (THORNTON, 1990).

De acordo com ESPÍNDOLA (1994), a variabilidade de habitats resultante da heterogeneidade espacial em reservatórios é um fator decisivo para o processo contínuo de reorganização das comunidades ao longo de um gradiente trófico. Essa característica favorece sobremaneira a manutenção da diversidade biológica nesses sistemas (TUNDISI *et al.*, 1988).

Segundo GERALDES & BOAVIDA (2005), reservatórios localizados em regiões susceptíveis a déficits hídricos periódicos sofrem grande flutuação no nível d'água, característica que pode acentuar a heterogeneidade espacial nesses ecossistemas. No entanto, apesar do conhecimento de que essas alterações podem comprometer o uso da água armazenada, poucos estudos têm abordado essa possibilidade em regiões áridas e semi-áridas, destacando-se os trabalhos desenvolvidos na região da Sicília (Itália) (BARONE & NASELLI-FLORES, 1994; NASELLI-FLORES, 1999) e Austrália (WATTS, 2000).

Nos açudes Pacajus e Gavião, a análise da heterogeneidade espacial revelou diferentes configurações espaciais correspondentes aos períodos seco e chuvoso. em resposta principalmente a mudanças nos regimes de fluxo dos respectivos rios barrados e de operação dos reservatórios.

No açude Pacajus, a expansão da zona fluvial, observada durante o período de aporte, deveu-se aos pulsos de sais dissolvidos e material em suspensão afluentes com as águas do Rio Choró, principal tributário do reservatório.

HENRY & MARICATO (1996) atribuíram a redução e expansão da zona fluvial da represa de Jurumirim (São Paulo) às mudanças sazonais no regime hidrológico dos tributários principais (Rios Paranapanema e Taquari), responsáveis pela formação de gradientes longitudinais induzidos principalmente pela carga e sedimentação diferencial do material em suspensão afluente ao sistema.

Além das alterações nas características físicas, particularmente representadas pelo aumento dos valores de C.E. e turbidez, a influência dos aportes via Rio Choro sobre a região imediatamente receptora foi ressaltada pelas elevadas concentrações de NID, PID e PT registradas nos pontos PJ06 e PJ05, acentuando os gradientes longitudinais na direção rio-barragem e ratificando o caráter fertilizador dos pulsos durante o período chuvoso.

No entanto, o elevado tempo de residência do reservatório, caracterizado como de fluxo lento (> 1.000 dias), favoreceu tanto a sedimentação do material em suspensão afluente na direção rio-barragem, como a mistura gradual das águas de maior força iônica do Rio Choró com as águas residentes, de natureza mais diluída, atenuando os efeitos dos pulsos sobre as regiões mais afastadas e suavizando os gradientes longitudinais.

A redução dos gradientes longitudinais no açude Pacajus pode ser observada pelo exame das isolinhas de C.E. e turbidez na direção rio-barragem. O maior distanciamento das isolinhas C.E. na direção da região fluvial refletiu o processo de mistura e diluição gradual das águas afluentes pelas águas residentes, caracterizadas pela menor força iônica (Figura 139).

Figura 139- Distribuição da condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) ao longo do eixo rio-barragem do açude Pacajus em abril/1999.

No caso das isolinhas de turbidez, ficou evidente a importância do processo de sedimentação na atenuação dos pulsos de material em suspensão em direção às regiões mais afastadas, favorecendo a manutenção da qualidade óptica das mesmas (Figura 140).

Figura 140- Distribuição longitudinal da turbidez (UNT) ao longo do eixo rio-barragem do açude Pacajus em abril/1999.

NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO (1999) atribuíram a pequena influência dos pulsos de material em suspensão sobre as características limnológicas da região lacustre da represa de Jurumirim (São Paulo) ao seu elevado tempo de residência, ao grande volume d'água armazenado e à considerável extensão do eixo longitudinal do sistema. Comportamento antagônico pode ser observado em reservatórios pequenos e rasos localizados em latitudes similares, os quais são mais susceptíveis aos efeitos dos pulsos durante os períodos de aporte (NOGUEIRA & MATSUMURA-TUNDISI, 1994; STRASKRABA & TUNDISI, 1999).

Ao contrário do período chuvoso, quando os pulsos hidrológicos foram determinantes para o estabelecimento de gradientes longitudinais marcantes, no período seco, a heterogeneidade espacial do açude Pacajus esteve condicionada principalmente à distribuição irregular do fitoplâncton, já que nessa época do ano as contribuições alóctones através do Rio Choró podem ser consideradas praticamente nulas.

Vale salientar que os gradientes ópticos observados durante o período seco resultaram principalmente da irregularidade na distribuição da biomassa algal ao longo do eixo longitudinal principal do reservatório.

No açude Gavião, os gradientes longitudinais deveram-se principalmente, à entrada de águas com menor força iônica e turbidez (provenientes do subsistema Pacoti-Riachão) em

relação às águas residentes, dando origem a uma região intermediária (GA02-GA03), com propriedades físicas e químicas diferenciadas em relação às regiões fluvial (GA01) e lacustre, representada, nos dois períodos, pelo *cluster* GA04-GA05.

O aporte contínuo das águas do subsistema Pacoti-Riachão durante o período de estudo foi responsável pela manutenção de uma região de transição entre as regiões fluvial e lacustre do reservatório.

A entrada de águas mais diluídas logo a jusante do ponto GA01, localizado na região fluvial do reservatório, funcionou como “barreira” (Figura 141) ao possível efeito de fertilização que seria atribuído às águas afluentes do Rio Cocó durante o período chuvoso, como acontece no açude Pacajus, com a entrada das águas nutriente-enriquecidas do Rio Choró.

Deve-se ressaltar também a importante função da área alagada localizada na zona de desembocadura do Rio Cocó no açude Gavião, a qual atua como um sistema natural redutor de cargas, atenuando o efeito dos pulsos de nutrientes e material em suspensão sobre a região fluvial do reservatório durante o período de chuvas. Essa peculiaridade foi responsável pela menor variação da z_{DS} e biomassa algal nessa região, ao contrário do observado no açude Pacajus, quando a entrada das águas do Rio Choró causou significativa redução da z_{eu} e biomassa algal na região fluvial em relação ao período anterior.

Figura 141- Distribuição da C.E. (mS.cm^{-1}) ao longo do eixo longitudinal principal do açude Gavião em maio/1999.

Essa constância relativa na biomassa fitoplancônica na região fluvial do açude Gavião durante o período de estudo ratificou, de certa forma, a menor influência do regime hidrológico do Rio Cocó sobre a região fluvial do reservatório em comparação àquela exercida pelo Rio Choró no açude Pacajus.

As menores flutuações no nível d'água e a menor variabilidade nas características morfométricas ao longo do ano, além da menor extensão do eixo longitudinal principal, também devem ser considerados fatores importantes para a menor variabilidade espacial das características limnológicas observadas no açude Gavião em comparação aos gradientes longitudinais bem marcados observados no açude Pacajus.

No açude Pacajus, a presença de uma área ecologicamente diferenciada na região intermediária do reservatório, caracterizada pela presença de grande quantidade de fitomassa parcialmente submersa, também contribuiu para a maior heterogeneidade espacial das características limnológicas. Como já discutido anteriormente neste trabalho, essa zona foi caracterizada pelos maiores gradientes térmicos verticais durante o período chuvoso, e por apresentar, no seu terço inferior, concentrações de OD típicas de anoxia, que permaneceram durante praticamente todo o período de estudo.

Além dos aspectos citados, deve-se considerar o efeito das transposições entre bacias, no caso do açude Pacajus, que recebe reforço, quando necessário, das águas da Bacia do Rio Jaguaribe via Canal do Trabalhador, e das transferências hídricas entre reservatórios, no caso do Gavião, como importantes fatores condicionantes da heterogeneidade espacial dos reservatórios.

Portanto, a heterogeneidade espacial dos reservatórios investigados e as mudanças nas configurações espaciais das unidades amostrais dos açudes Pacajus e Gavião deveram-se a uma combinação de fatores que atuaram com maior ou menor intensidade de acordo com o período hidro-climático considerado, além das peculiaridades ambientais de cada reservatório.

Durante o período chuvoso, predominou, no caso do açude Pacajus, a influência dos aportes do tributário principal para o destacamento de gradientes longitudinais marcantes na direção rio-barragem, ao mesmo tempo em que ocorreu expansão da zona fluvial do reservatório causada pela maior intensidade dos pulsos hidrológicos. A atenuação dos gradientes longitudinais nesse reservatório deveu-se, principalmente, ao elevado tempo de residência de suas águas, característica hidráulica que favoreceu a dissipação da energia dos pulsos a partir do ponto inicial de recebimento. Essa peculiaridade, além de proteger as zonas inferiores dos efeitos de carga de material em suspensão e sais dissolvidos, resultou num gradiente de sedimentação, o qual destacou uma região intermediária que, além de apresentar-se ecologicamente diferenciada, foi caracterizada como uma possível zona de sedimentação.

Durante o período seco, os gradientes espaciais foram condicionados principalmente pela distribuição irregular do fitoplâncton, dependente dos processos internos de regeneração para a disponibilização de recursos e manutenção do seu crescimento. As diferenças nas velocidades dos processos de ciclagem interna, bem como na assimilação posterior dos recursos pelo fitoplâncton, entre os diferentes compartimentos horizontais do reservatório devem ter contribuído para o destacamento de zonas ecologicamente diferenciadas.

No açude Gavião, devido à menor influência do regime hidrológico do Rio Cocó sobre a dinâmica da região fluvial, caracterizada pela presença de uma área alagada que funcionou como um sistema tamponante, atenuando os pulsos de matéria e energia ao sistema, a heterogeneidade espacial do reservatório foi condicionada principalmente pelo aporte contínuo de águas do subsistema Pacoti-Riachão, dando origem a um compartimento de transição, com características físicas e químicas intermediárias, e estado trófico inferior ao restante do açude. Vale salientar, no entanto, que apesar da menor variabilidade da biomassa algal entre os diferentes compartimentos do reservatório em relação ao açude Pacajus, a intensidade dos processos de regeneração interna de nutrientes também deve dá-se de maneira diferenciada entre as regiões ecológicas do sistema em resposta às suas peculiaridades morfométricas e ambientais.

O reconhecimento de padrões horizontais em reservatórios, além da importância teórica no que diz respeito à identificação de zonas ecologicamente diferenciadas, caracterizadas pela sobreposição de gradientes abióticos e bióticos, tem grande importância prática, já que pode servir de referência para o zoneamento de atividades como a pesca, criação em tanques-rede, recreação e abastecimento de água.

No Estado do Ceará, apesar da exploração da aquicultura em reservatórios ser uma atividade regulamentada (Decreto Estadual nº 26.389, de 03 de abril de 2001), com critérios técnicos bem estabelecidos, principalmente no que se refere ao disciplinamento da atividade e à delimitação da área do espelho d'água disponível para implantação de projetos, não há qualquer indicação técnica sobre os critérios de escolha das áreas a serem outorgadas para uso dentro de cada açude.

Portanto, o uso de técnicas de estatística multivariada, como a combinação de métodos apresentada neste trabalho, associado à aplicação de métodos geoestatísticos criteriosamente escolhidos, podem nortear os procedimentos de outorga e escolha de áreas propícias ao desenvolvimento da aquicultura em reservatórios.

8.7. Comunidade Zooplancônica

De acordo com NOGUEIRA (2001), o entendimento dos padrões espacial e temporal de distribuição das populações do zooplâncton é uma tarefa difícil, especialmente em regiões tropicais, onde praticamente não existem informações acerca da ecologia de espécies individuais.

De acordo com ROCHA, SENDACZ e MATSUMURA-TUNDISI (1995), o número de espécies do zooplâncton em reservatórios brasileiros, incluindo aqueles localizados na Amazônia e bacia do Rio Paraná, varia de 14 a 81 (média de 35), sendo que o grupo dos Rotifera tem apresentado maior riqueza de espécies em relação aos Cladocera e Copepoda.

De modo geral, pode-se afirmar que as espécies identificadas nos açude Pacajus e Gavião são bem representativas da fauna de microinvertebrados planctônicos Neotropical, com amplo espectro de distribuição geográfica no Brasil (ROCHA, SENDACZ e MATSUMURA-TUNDISI, 1995).

A dominância do Copepoda-Cyclopoida *T. decipiens* na quase totalidade das amostras analisadas nos reservatórios investigados esteve diretamente associada ao estado trófico dos mesmos, classificados como eutróficos ou hipereutróficos, dependendo do período considerado (Tabela 21).

De acordo com REID (1988), *T. decipiens* tende a ser numericamente dominante dentre as espécies de microcrustáceos planctônicos em reservatórios brasileiros, sendo considerada uma espécie indicadora de ambientes nutriente-enriquecidos (SAMPAIO *et al.*, 2002).

RIETZLER (1995), investigando a dinâmica populacional e o ciclo de vida de *T. decipiens* e *T. minutus*, observou vantagens competitivas de *T. decipiens* em relação à *T. minutus*, espécie dominante em águas oligo-mesotróficas, particularmente em lagos e reservatórios com bacias bem preservadas (MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI, 1976; SENDACZ, KUBO e CESTAROLLI, 1985; GÜNTZEL, 2000).

FREIRE & PINTO-COELHO (1986) observaram maior abundância de *T. decipiens* no reservatório Vargem das Flores (Minas Gerais), particularmente nas regiões diretamente influenciadas pelo lançamento de esgoto doméstico bruto. NEWMANN-LEITÃO *et al.* (1989) constataram dominância de *T. decipiens* no açude Apipucos (Pernambuco), um reservatório de características eutróficas, localizado no semi-árido brasileiro.

Tabela 21- Valores médios ($\pm$ desvio padrão) das variáveis limnológicas investigadas nos açudes Pacajus e Gavião em dez./1998 e jun./1999.

	Pacajus		Gavião	
	dez./1998	Jun./1999	dez./1998	jun./1999
Z _{DS} (m)	0,8 ($\pm 0,2$)	0,9 ($\pm 0,2$)	1,3 ($\pm 0,6$)	0,9 ($\pm 0,1$)
pH	7,73 ($\pm 0,5$)	8,03 ($\pm 0,4$)	8,49 ($\pm 0,14$)	8,20 ($\pm 0,21$)
Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	29,3 ($\pm 0,9$)	28,6 ($\pm 0,4$)	29,3 ($\pm 0,3$)	32,6 ($\pm 0,4$)
OD (mg.L ⁻¹)	5,92 ($\pm 2,36$)	8,34 ($\pm 3,37$)	8,55 ($\pm 0,38$)	7,47 ($\pm 1,34$)
C.E. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	1217 (± 111)	793 (± 172)	1160 (± 20)	1130 (± 70)
Alc. Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	80,67 ($\pm 6,23$)	78,82 ($\pm 11,96$)	57,80 ($\pm 12,25$)	69,61 ($\pm 3,80$)
NO ₂ ⁻ -N($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1,72 ($\pm 0,47$)	2,52 ($\pm 2,30$)	0,83 ($\pm 0,11$)	1,48 ($\pm 0,32$)
NO ₃ ⁻ -N ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	16,32 ($\pm 27,37$)	2,11 ($\pm 3,70$)	4,61 ($\pm 5,68$)	12,19 ($\pm 2,61$)
NH ₃ + NH ₄ ⁺ ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	226,72 ($\pm 184,45$)	334,22 ($\pm 137,73$)	99,67 ($\pm 41,76$)	268,13 ($\pm 65,53$)
PID ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5,24 ($\pm 4,36$)	11,49 ($\pm 3,84$)	3,53 ($\pm 4,15$)	13,51 ($\pm 3,95$)
PT ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	573,38 ($\pm 471,21$)	171,24 ($\pm 215,33$)	363,45 (± 391)	234,15 ($\pm 201,89$)
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	70,48 ($\pm 92,63$)	14,80 ($\pm 8,12$)	16,56 ($\pm 8,73$)	16,69 ($\pm 3,73$)
E.T.	89,6 (H)	71,0 (E)	87,1(H)	74,3 (E)

E.T.: Estado Trófico; E: Eutrófico, H: Hipereutrófico.

NEWMANN-LEITÃO & NOGUEIRA (1987) relataram dominância dessa espécie em tanques de piscicultura - ambientes tipicamente eutróficos.

RITZLER & ESPÍNDOLA (1998) associaram o conteúdo estomacal de *T. decipiens*, constituído especialmente por detritos orgânicos e colônias da cianoprocaríota *Microcystis*, à plasticidade alimentar da espécie – característica que lhe confere vantagem competitiva em relação a outros Copepoda-Cyclopoida em ambientes nutriente-enriquecidos.

Algumas espécies de *Thermocyclops*, especialmente *T. minutus*, têm sido classificadas como omnívoras, podendo consumir desde algas coloniais e filamentosas, a pequenos microheterótrofos, tais como rotíferos, além de náuplios e copepoditos de outros Copepoda (CLARKE, 1978; De MOTT, 1988, 1989; NOGUEIRA & MATSUMURA-TUNDISI, 1996; MATSUMURA-TUNDISI, 1997; BONECKER *et al.*, 2001).

Da mesma forma como observado para os açudes Pacajus e Gavião, alguns trabalhos destacaram não somente a coexistência, mas também altas densidades de táxons desses gêneros em reservatórios brasileiros (MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI, 1976; ARCIFA, 1984; SENDACZ, 1984; SENDACZ, KUBO e CESTAROLLI, 1985; LOPES *et al.*, 1997; BONECKER *et al.*, 2001; SAMPAIO *et al.*, 2002).

De acordo com FERNANDO, TUDORANCEA e MENGESTOU (1990), espécies do gênero *Thermocyclops* são geralmente herbívoras e algumas vezes carnívoras, enquanto os táxons de *Mesocyclops* são considerados carnívoros ou detritívoros. Entretanto, a extensão na qual uma espécie atua como carnívora obrigatória ou facultativa parece variar (FERNANDO, TUDORANCEA e MENGESTOU, 1990; SAMPAIO, *et al.*, 2002).

De acordo com HUTCHINSON (1967), a co-ocorrência dos gêneros *Thermocyclops* e *Mesocyclops* é típica de águas tropicais.

Segundo REID (1989), a co-ocorrência desses dois táxons é indicativo de alternância de condições ambientais, os quais podem favorecer a dominância de uma ou outra espécie.

REID & MORENO (1990) afirmaram que a co-existência de *T. minutus* e *T. decipiens* em sistemas límnicos é particularmente notada sob condições cíclicas ou instáveis.

Enquanto a ocorrência de *T. minutus* encontra-se confinada às regiões tropicais sulamericanas, com preferência por águas oligo-mesotróficas (DABÉS, 1995), *T. decipiens* caracteriza-se como uma espécie pantropical (ROCHA, SENDACZ e MATSUMURA-TUNDISI, 1995), normalmente encontrada em corpos d'água meso- e eutróficos, sendo considerada uma espécie indicadora de condições eutróficas (REID *et al.*, 1988).

No açude Pacajus, houve alternância de dominância entre as duas espécies, com *T. decipiens* dominante em dez./1998, período em que o reservatório foi considerado hipereutrófico, e *T. minutus* em jun.1999, quando os pontos, na sua maioria, foram classificados como eutrófico, com exceção do ponto PJ01, classificado como mesotrófico.

SAMPAIO *et al.* (2002) observaram alternância sazonal no padrão de abundância entre *T. minutus* e *T. decipiens* sob condições oligotróficas, e dominância ou ocorrência exclusiva de *T. decipiens* sob condições meso- ou eutróficas em reservatórios ao longo do Rio Parapanema (São Paulo).

As características químicas típicas do final do período seco, representadas principalmente pela concentração dos solutos dissolvidos, maior biomassa algal e elevada temperatura da água parecem ter favorecido a dominância de *T. decipiens* no açude Pacajus em dez./1998.

Além dos já citados, outros fatores devem estar envolvidos na sucessão das populações zooplantônicas nos açudes Pacajus e Gavião, embora isso não fosse um dos objetivos da pesquisa, que consistiu de uma investigação preliminar sobre a composição do zooplâncton dos dois reservatórios. Dentre os fatores possivelmente determinantes para a

alternância de dominância entre os principais grupos do zooplâncton nesses reservatórios estão as alterações na estrutura da comunidade fitoplanctônica e o regime de operação dos mesmos, especialmente representado pelo tempo de residência da água, bastante variável ao longo do ano hidrológico. Como os açudes Pacajus e Gavião fazem parte de um sistema integrado, onde as demandas são garantidas pela manipulação dos volumes armazenados através de transferências hídricas entre os reservatórios do SAABRMF, as alterações no regime de fluxo podem influenciar significativamente tanto a organização das comunidades ao longo de um gradiente hidráulico longitudinal, como a sucessão das populações ao longo dos ciclos sazonais.

Dados preliminares sobre a composição da comunidade fitoplanctônica do açude Gavião, cedidos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH, não publicados), referentes a uma única coleta realizada em junho/2002, mostraram a dominância de Cianobactérias, especialmente de *Planktothrix agardii* e *Cylindrospermopsis raciborskii* e (252.000 cel./mL e 9.100 cel./mL, respectivamente (

Tabela 22). Essas duas espécies filamentosas são consideradas potencialmente tóxicas através da produção de hepato- e neurotoxinas (AWWARF, 1995; CHARMICHAEL, 1994; CHARMICHAEL, 1997; CHORUS & BARTRAM, 1999). Na mesma época, o açude Pacoti, maior reservatório do SAABRMF, apresentou densidades de cianobactérias inferiores ao açude Gavião. A ausência de dados sobre a composição do fitoplâncton do açude Pacajus inviabilizou quaisquer inferências acerca da possível influência da estrutura dessa comunidade sobre a composição do zooplâncton do reservatório. A instabilidade da coluna d'água nessa época do ano, consequência da ocorrência de ventos intensos, deve ter favorecido o crescimento de espécies *S-estrategistas*, como é o caso de *Planktothrix agardii* e *Cylindrospermopsis raciborskii*. Essas espécies mostram-se bem adaptadas a condições de mistura turbulenta, sendo consideradas boas captadoras de luz quando transportadas ao longo de gradientes verticais de luz, o que as torna mais competitivas em relação a outras.

Embora não houvesse dados disponíveis acerca da estrutura das comunidades fitoplanctônicas dos reservatórios à época das coletas, a provável dominância de espécies bem adaptadas a condições de mistura turbulenta pode ter favorecido a dominância dos Copepoda-Cyclopoida nos açudes Pacajus e Gavião em jun./1999, quando representaram 75 e 63,9% do total de organismos zooplanctônicos, respectivamente.

Tabela 22- Densidade do fitoplâncton (cél./mL) nos açudes Gavião e Pacoti em única coleta realizada em Junho de 2002 (COGERH, dados não publicados).

Cianobactérias	Açude Gavião	Açude Pacoti
<i>Aphanizomenon sp.</i>	2	2.000
Chroococcales	4	0
Cyano 1	1.333	0
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (curvo)	600	1.200
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (reto)	8.500	3.500
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	9.100	4.700
<i>Merismopedia sp.</i>	533	0
<i>Planktothrix agardhii</i>	252.000	153.300
Pseudoanabaenaceae 1	4.000	2.000
Pseudoanabaenaceae 2	2.267	133
Pseudoanabaenaceae 3	4.000	0
Raphidiopsis (?)	733	0
Outras cianobactérias	12.873	4.133
Total	295.945	170.967
Diatomáceas		
<i>Aulacoseira granulata</i>	0	467
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	200	133
<i>Cyclotella sp.</i>	0	33
Pennales 1	67	0
Pennales 2	33	0
Pennales 3	100	0
Total	400	633
Criptofíceas		
<i>Cryptomonas cf. brasiliensis</i>	0	333
<i>Cryptomonas cf. marssonii</i>	67	33
<i>Komma cf. acuta</i>	33	33
Total	100	400
Clorofíceas		
<i>Monoraphidium cf. contortum</i>	567	33
<i>Monoraphidium sp.</i>	100	0
<i>Closterium acutum</i>	0	133
<i>Closterium cf. juncidum</i>	33	0
Clorofícea filamentosa	0	1.667
Total	700	1.833

ESTEVEES & SENDACZ (1988) sugeriram que os Cyclopoida podem ingerir porções de algas filamentosas e coloniais, fontes de alimento provavelmente indisponíveis para os Calanoida, já que estes são organismos filtradores (PANARELLI, NOGUEIRA e HENRY, 2001).

RIETZLER & ESPÍNDOLA (1998) encontraram alta porcentagem de detritos orgânicos e colônias de cianobactérias (principalmente *Microcystis*) no conteúdo estomacal de *Mesocyclops kieferi* e *Thermocyclops decipiens*, enquanto que a dieta dos Calanoida consistiu principalmente de diatomáceas e fitoflagelados. Os autores concluíram que colônias de *Microcystis* constituíram-se, direta ou indiretamente, em fonte alternativa de alimento para os Cyclopoida.

Segundo PANARELLI, NOGUEIRA e HENRY (2001), a capacidade dos Cyclopoida em usar colônias de *Microcystis* ou detritos orgânicos associados explicou a dominância de táxons deste grupo na represa de Jurumirim (São Paulo), durante o período seco. Nesse período, nos mesmos dias de coleta, foram observadas altas densidades de *Microcystis* (FERREIRA, 1998 apud PANARELLI, NOGUEIRA e HENRY, 2001).

De acordo com MONTEIRO (1996) e BONECKER *et al.* (2001), a presença de cianobactérias filamentosas em altas densidades pode diminuir a capacidade de filtração dos Calanoida de água doce, reduzindo drasticamente suas populações em reservatórios.

Embora as evidências dos efeitos tóxicos das cianotoxinas sobre o zooplâncton a partir de estudos em laboratório sejam complexas e inconsistentes, é razoável admitir que algumas espécies de cianobactérias possam causar algum tipo de injúria ao zooplâncton em sistemas naturais, apesar do efeito ser altamente variável entre gêneros e espécies (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Vários estudos têm sugerido que diferentes suscetibilidades de organismos zooplanctônicos a populações de cianobactérias potencialmente tóxicas podem resultar numa pressão seletiva em favor de cepas ou espécies fisiologicamente adaptadas (DeMOTT *et al.* 1991; LAURÉN-MÄÄTTÄ *et al.*, 1997).

FULTON (1988), baseado em dados experimentais, sugeriu que o efeito inibidor causado por cianobactérias sobre o desenvolvimento do zooplâncton estaria mais relacionado ao caráter de toxicidade do que a aspectos morfológicos.

De acordo com PORTER (1977) e TAVARES & MATSUMURA-TUNDISI (1984), diferenças nas velocidades de assimilação e filtração para diferentes espécies de fitoplâncton podem estar associadas a peculiaridades relativas ao valor nutricional, morfologia da célula, palatabilidade e toxicidade.

PATALAS (1972) e GANNON-STEMBERGER (1978), estudando diferentes aspectos ecológicos de microcrustáceos zooplancônicos dos Grandes Lagos (Estados Unidos), observaram que os Cyclopoida foram mais abundantes que os Calanoida sob condições eutróficas.

SENDACZ & KUBO (1982) associaram a ausência de calanóidas em reservatórios do Estado de São Paulo (Brasil) às condições predominantemente eutróficas observadas.

Portanto, diante do exposto, a dominância dos Cyclopoida sobre os Calanoida em dez./1998 no açude Pacajus e em jun./1999 nos dois reservatórios deveu-se, provavelmente, ao estado trófico das águas armazenadas, classificadas como hipereutróficas e eutróficas no período seco e chuvoso, respectivamente.

A dominância dos Rotifera no açude Pacajus durante o período seco (dez./1998) esteve associada a elevados concentrações de clorofila *a* e valores de pH em todo o reservatório, especialmente na sua região fluvial. Neste período, a biomassa fitoplanctônica foi superior a jun./1999 (dez./1998: 70,78 $\mu\text{g.L}^{-1}$; jun./1999: 14,80 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Alguns pesquisadores têm sugerido uma relação entre altos valores de pH, resultantes principalmente da elevada produtividade primária do fitoplâncton, e o desaparecimento de microcrustáceos, especialmente dos Cladocera em reservatórios. Nestas condições, as alterações nas características químicas da coluna d'água favoreceriam principalmente rotíferos e copépodos (O'BRIEN & DENOYELLES, 1972; ORCUTT & PACE, 1984). AOYAGUI *et al.* (2003) encontraram grande densidade de rotíferos associados com elevada produtividade primária durante o período seco no reservatório de Corumbá (Goiás).

Vários estudos têm associado a abundância de organismos do grupo Rotifera em reservatórios a variações na concentração de clorofila *a* (BONECKER & LANSAC-TÔHA, 1996; GARCIA *et al.*, 1998).

De acordo com RODRÍGUEZ & MATSUMURA-TUNDISI (2000), os rotíferos são considerados organismos oportunistas, geralmente abundantes sob condições eutróficas. Vários autores têm observado um aumento na densidade de Rotifera ao longo do espectro trófico em ambientes límnicos, associando sua elevada abundância à plasticidade alimentar do

grupo, conferida pela grande capacidade de adaptação a diferentes fontes de alimento, incluindo partículas de dimensões reduzidas, tais como bactérias e detritos orgânicos, geralmente abundantes em sistemas eutróficos (MARGALEF, 1983; ORCUTT & PACE, 1984; PACE, 1986; NOGUEIRA, 2001). DUMMONT (1977) destacou o reduzido tamanho das células dos rotíferos como vantagem competitiva, conferindo-lhes menor pressão de predação.

Segundo ROCHA, SENDACZ e MATSUMURA-TUNDISI (1995), os Rotifera são o grupo dominante na maior parte dos reservatórios brasileiros, apresentando riqueza e densidade elevadas sobre amplo espectro trófico.

Além da plasticidade alimentar e tamanho reduzido das células, as altas taxas de fecundidade e o tipo de reprodução, freqüentemente partenogenética, conferem-lhes vantagens competitivas, caracterizando-os como organismos oportunistas e tipicamente *r-estrategistas*, estando, portanto, bem adaptados a condições instáveis e eutróficas (MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1990; ROCHA, SENDACZ e MATSUMURA-TUNDISI, 1995; NOGUEIRA, 2001; SAMPAIO *et al.*, 2002).

Algumas espécies de rotíferos registradas nos açudes Pacajus e Gavião, tais como *B. calyciflorus* e *K. tropica* são potenciais indicadoras de ambientes aquáticos enriquecidos. *B. calyciflorus* é tolerante a altos níveis de poluição orgânica, sendo encontrada, inclusive, em sistemas de lagoas de estabilização (SLÁDECEK, 1983; BOHRER, 1995), enquanto a ocorrência de *K. tropica* é freqüentemente associada a estados tróficos superiores (DUGAN *et al.*, 2001). Estas espécies apresentam grande capacidade de ajuste metabólico a alterações ambientais causadas por mudanças nas características físicas e químicas da coluna d'água.

Segundo RUTTNER-KOLISKO (1974) e SHIEL (1979), lagos tropicais são caracterizados pela predominância de *Brachionus*, um gênero bem adaptado a condições eutróficas (SLÁDECEK, 1983).

No Brasil, vários trabalhos têm destacado a dominância de *Brachionus* em ambientes nutriente-enriquecidos (SENDACZ, KUBO e CESTAROLLI, 1985; FREIRE & PINTO-COELHO, 1986; PARANAGUÁ & NEWMANN-LEITÃO, 1980; PARANAGUÁ & NEWMANN-LEITÃO, 1982; NOGUEIRA, 2001). NEWMANN-LEITÃO *et al.* (1982) encontraram *Brachionus calyciflorus* e *Brachionus falcatus* como as espécies mais abundantes no Açude Apipucos (Pernambuco). INFANTE (1982) também mencionou essas duas espécies como indicadoras de condições eutróficas em um lago venezuelano.

B. calyciflorus foi a espécie mais abundante dentre os Rotifera na maior parte dos pontos amostrados no açude Araras (Ceará) em setembro de 2005, seguida de *B. havanaensis*. Em dezembro/2005, além de altas densidades de *B. calyciflorus*, *B. dolabratus*, *B. falcatus* e *B. havanaensis*, a espécie *Flinia longiseta* foi dominante em 05 (cinco) dos 16 (dezesesseis) pontos amostrados nesse reservatório (FUDERPE, 2005; 2006).

Espacialmente, a dominância dos rotíferos nos pontos mais rasos, localizados nas respectivas regiões fluvias e intermediárias dos açudes Pacajus e Gavião, deveu-se ao estado trófico dessas regiões, classificadas como eu – ou hipereutróficas durante o período de estudo, dando origem a gradientes bióticos, caracterizados pela diminuição da densidade em direção às zonas de barragem.

Ao contrário, os Calanoida pareceram mais adaptados às regiões lacustres, apresentando gradientes inversos aos apresentados para os rotíferos e ciclopóidas.

NOGUEIRA (2001) observou que as populações de rotíferos e protozoários pareceram melhor adaptadas às zonas fluvial e de transição da Represa de Jurumirim (São Paulo), onde foram registradas as maiores densidades.

NOGUEIRA (2001) encontrou um padrão inverso na distribuição dos Calanoida em relação aos Rotifera e Protozoa na represa de Jurumirim (São Paulo), com os primeiros mais abundantes nas regiões oligotróficas do reservatório. O autor também ressaltou que a maior densidade dos Copepoda-Calanoida observada em um compartimento do reservatório (mais isolado do canal principal) deveu-se às condições hidrodinâmicas favoráveis, caracterizadas principalmente pela menor influência dos processos advectivos. Esta peculiaridade, segundo o pesquisador, favoreceu o crescimento dos Calanoida durante os períodos de menor tempo de residência, já que as espécies desse grupo são consideradas *k*-estrategistas, requerendo condições ambientais mais estáveis em razão do seu maior tempo de reprodução.

ZANATA & ESPÍNDOLA (2002) encontraram maior abundância de rotíferos na região sob influência direta do Rio Atibaia, principal afluente da Represa de Salto Grande (São Paulo). Os autores suscitaram a hipótese de associação entre a densidade de rotíferos e a concentração de material em suspensão, a qual apresentou um gradiente negativo na direção rio-barragem.

BERNOT *et al.* (2004) também observou maiores densidades de organismos do grupo Rotifera na região superior do reservatório Glen Elder (Kansas, Estados Unidos), caracterizada pela maior concentração de material em suspensão e maior velocidade de fluxo, características que os favoreceriam em relação aos microcrustáceos. A maior capacidade de

adaptação a condições de instabilidade física e a plasticidade alimentar dos rotíferos conferem-lhes vantagens competitivas em regiões receptoras de maiores cargas de material em suspensão em reservatórios (ECKER & WALS, 1998; KIRK & GILBERT, 1990).

Apesar de, teoricamente, haver quantidade de alimento suficiente, não houve acesso a dados acerca da composição da comunidade fitoplanctônica do açude Pacajus, nem mesmo em um momento posterior à pesquisa. Apesar da falta de conhecimento sobre a qualidade de alimento disponível, o estado trófico do reservatório aponta para a existência de fontes compatíveis com a dieta dos rotíferos, incluindo detritos, células fitoplanctônicas assimiláveis pelos organismos deste grupo e material em suspensão de contendo matéria orgânica adsorvida.

Segundo NOGUEIRA (2001), altas densidades de Rotífera e Protozoa nas zonas de cabeceira da represa de Jurumirim foram beneficiadas, provavelmente, pelos aportes de material em suspensão.

De acordo com ARRUDA, MARZOLF e FAULK (1983), matéria orgânica adsorvida a material em suspensão pode constituir-se em importante fonte energética para o zooplâncton. Além da maior disponibilidade de alimento, o aporte de material em suspensão exerce um efeito negativo sobre a visibilidade dos predadores, reduzindo a pressão sobre o zooplâncton (BRUTON, 1985). Este efeito é especialmente notável nas zonas superiores de sistemas límnicos, como observado por MASUNDIRE (1989) no lago Kariba (Zimbabwe).

Nos açudes Pacajus e Gavião, além do aporte alóctone durante o período chuvoso, deve-se considerar a carga interna de material em suspensão através da ressuspensão dos sedimentos de fundo durante a época de fortes ventos. No entanto, alterações na qualidade óptica da coluna d'água podem interferir com a produtividade primária do fitoplâncton, comprometendo a disponibilidade e qualidade de recursos assimiláveis pelo zooplâncton (BOZELLI, 1992).

DEJEN *et al.* (2004) ressaltaram que altas cargas de silte podem retardar ou favorecer o crescimento do zooplâncton. A disponibilidade de alimento pode diminuir em razão da limitação da produtividade primária do fitoplâncton, além de danos ao sistema de filtração do zooplâncton filtrador, enquanto a interferência da turbidez sobre a visibilidade da presa tem um efeito positivo através da redução da pressão de predação dos organismos zooplancívoros (McCABE & O'BRIEN, 1983; HART, 1988; LIND *et al.*, 1992).

LANDA & MOURGUÉS-SCHURTER (2000) atribuíram o aumento na densidade dos Rotífera numa represa de pequeno porte localizada no município de Lavras (Minas Gerais) durante o período de aporte, à maior capacidade de adaptação desse grupo de organismos a condições de instabilidade. Segundo os pesquisadores, essa característica está diretamente associada ao curto ciclo biológico dos Rotífera, resultando em taxas de reposição mais rápidas que a dos microcrustáceos.

DUNCAN & GULATTI (1981) estimaram uma taxa de reposição de 1,85 dias para os rotíferos no Reservatório Parakrama Samudra (Sri Lanka) - característica favorável à manutenção das suas populações em períodos de baixos tempos de residência.

A dominância dos Rotífera na Represa do Monjolinho (São Carlos-SP) foi associada às condições hidrodinâmicas do sistema, caracterizadas pelo baixo tempo de residência durante todo o ano - 2,1 dias durante o período chuvoso, e inferior a 30 dias na época seca.

As vantagens competitivas dos rotíferos em ambientes fisicamente instáveis também foram relatadas por HARDY (1980) e LANSAC-TÔHA *et al.* (1993).

A maior densidade de *Diaphanosoma spinulosum* registrada no açude Pacajus em dez./1998 foi favorecida, provavelmente, pelas condições hipereutróficas desse reservatório durante o final do período seco.

ZAGO (1976) e SENDACZ, KUBO e CESTAROLLI (1985) relataram a ocorrência do gênero *Diaphanosoma* em reservatórios do Estado de São Paulo SENDACZ *et al.* (1984) atribuíram as altas densidades de *Diaphanosoma sp.* na represa Billings (São Paulo) à sua grande capacidade de adaptação a ambientes eutróficos, comportamento antagônico ao do Cladocera *Daphnia gessneri*.

A maior abundância de *C. cornuta* (*C. cornuta cornuta* + *C. cornuta rigaudi*) observada no açude Gavião em dez./1998 coincidiu com os maiores valores de z_{DS} (1,3 m) e C.E. das águas residentes ($1160 \mu S.cm^{-1}$).

A maior abundância de *Ceriodaphnia cornuta* na zona litoral de dois ambientes (Rio Baía e Lagoa do Guaraná) da planície de inundação do alto Rio Paraná (Mato Grosso do Sul) foi associada à maior z_{DS} e C.E. (ROSSA *et al.*, 2001).

FREIRE & PINTO-COELHO (1986) encontraram elevadas densidades de *Ceriodaphnia sp.* em um reservatório de Minas Gerais, associando sua ocorrência e abundância às condições tipicamente eutróficas das águas armazenadas.

O aumento da densidade de cladóceras tem sido reconhecido como indicador de evolução do estado trófico de sistemas límnicos (GANNON & STEMBERGER, 1978; MAGADZA, 1980; SAMPAIO *et al.*, 2002). Além desse critério, o tamanho das espécies também tem sido utilizado como indicador da qualidade da água em reservatórios (SAMPAIO *et al.*, 2002).

Segundo STRASKRABA & TUNDISI (2000), a existência de espécies de tamanho grande (ex. dafinídeos) é indicativo do controle do fitoplâncton por herbivoria.

ZANATA & ESPÍNDOLA (2002) encontraram maiores densidades de Cladocera nos pontos localizados na região intermediária e nas proximidades da barragem da Represa de Salto Grande (São Paulo), comportamento similar ao verificado para os açudes Pacajus e Gavião.

NOGUEIRA (2001) relatou que a distribuição de *Diaphanosoma birgei*, a principal espécie de Cladocera no Reservatório de Jurumirim (São Paulo), pareceu mais adaptada à zona de barragem e ao canal central. A menor abundância dessa espécie nas zonas superiores do reservatório foi atribuída à elevada turbidez, típica dos pontos sob influência direta dos afluentes principais (HENRY & MARICATO, 1996; NOGUEIRA, HENRY e MARICATTO, 1999; NOGUEIRA, 2000).

HART (1986) associou a redução no *standing stock* de algumas espécies de Cladocera no Reservatório Lê Roux (África do Sul) à excessiva turbidez do corpo d'água.

TAKAHASHI *et al.* (2005) encontraram maior riqueza de espécies e abundância de cladóceras planctônicos na zona de transição do Reservatório Corumbá (Goiás) durante os períodos seco e chuvoso, atribuindo tal fato a uma combinação de fatores, incluindo as características hidrodinâmicas e o aporte de recursos alimentares, os quais favoreceram o estabelecimento e desenvolvimento de grandes populações de cladóceras planctônicos. Os resultados obtidos por TAKAHASHI *et al.* (2005) se ajustaram a um dos modelos de distribuição espacial do zooplâncton em reservatórios proposto por MARZOLF (1990), com frequência de distribuição assimétrica positiva na direção rio-barragem, com menor abundância na região superior e maior na zona intermediária.

O mesmo padrão de distribuição longitudinal foi observado em outros reservatórios brasileiros (LOPES *et al.*, 1997; LANSAC-TÔHA *et al.*, 1999).

LOPES *et al.* (1997) atribuiu a maior densidade de cladóceras na zona de transição do Reservatório de Segredo (Paraná) à elevada biomassa fitoplanctônica, considerada a principal

fonte de alimento para estes organismos. KIMMEL *et al.* (1990) destacaram as características hidrodinâmicas da zona intermediária, particularmente representadas pela redução nas velocidades de corrente, combinada à manutenção da disponibilidade de nutrientes, como fatores responsáveis pela maior produtividade do fitoplâncton geralmente observada nessa região de reservatórios.

TAKAHASHI *et al.* (2005) também destacaram a importância de espécies não-planctônicas para a estrutura e dinâmica da comunidade zooplancônica do Reservatório Corumbá, especialmente na sua região fluvial, onde essas espécies foram mais abundantes.

Vale destacar, no entanto, que tanto no açude Pacajus, como no Gavião, a riqueza e densidade de cladóceras foi baixa, característica apontada por PIYASIRI & JAYAKODI (1991) como típica de reservatórios, em razão da baixa estabilidade desse tipo de sistema, conferida principalmente pela variabilidade do regime operacional. Além disso, os pesquisadores destacaram o menor número de habitats, como possível característica ecológica limitante à maior diversidade da comunidade, quando comparada àquelas normalmente encontradas em lagos naturais e lagoas.

Apesar da importância sócio-econômica e ambiental dos açudes Pacajus e Gavião, da carência de estudos na região considerada, da tentativa de associação entre o estado trófico dos reservatórios e a ocorrência/abundância de determinadas espécies zooplancônicas potencialmente indicadoras da qualidade da água em reservatórios e do quadro atual de mudanças climáticas, um conjunto mais robusto de dados, incluindo várias amostragens em cada estação climática, poderia favorecer o reconhecimento de padrões espaço-temporais na composição e distribuição das comunidades zooplancônicas dos reservatórios. Um banco de dados mais consolidado também poderia ser importante para a validação de possíveis mudanças no padrão climático regional.

9. Conclusões

1. A aplicação de técnicas de Estatística Multivariada, particularmente da Análise de Componentes Principais (ACP), a dados climáticos históricos (1961 a 1990) constituiu-se em importante ferramenta para a delimitação de agrupamentos de meses representativos de cada período hidro-climático, permitindo a escolha dos meses, bem como a periodicidade de amostragem, evitando critérios intuitivos e aleatórios. Além dos períodos seco e chuvoso, a Análise de Classificação das unidades amostrais destacou um período de transição entre os períodos seco e chuvoso.
2. A aplicação de técnicas de estatística circular a dados climáticos históricos da região de estudo, caracterizada pelo clima tipicamente semi-árido, revelou sazonalidade marcante, definida não somente pelos regimes de insolação e precipitação, mas por períodos de transição, caracterizados por condições atmosféricas intermediárias, onde variáveis climáticas, como o vento, ou uma combinação delas, definiram períodos climáticos mais ou menos homogêneos ao longo do ano.
3. A estrutura vertical da coluna d'água dos açudes Pacajus e Gavião foi determinada pela ação sinérgica de componentes ativos (fatores climáticos) e passivos (características fisiográficas e morfométricas), os quais definiram pequenos gradientes térmicos e salinos durante o período de estudo. Durante o segundo semestre, o vento atuou como principal forçante climática indutora do processo de mistura turbulenta da coluna d'água, resultando em istermia nos dois reservatórios. Durante o período chuvoso, mudanças nas condições climáticas ao longo do ciclo diário, particularmente na intensidade dos ventos e radiação solar, devem ter favorecido episódios de mistura completa da coluna d'água. Apesar da metodologia de amostragem não permitir a tipificação dos reservatórios quanto ao padrão de circulação, já que isso exigiria uma maior frequência de amostragem em escalas sazonal e diária, a ação de fatores climáticos, favorecida pelas características fisiográficas da área de entorno, como a suavidade do relevo e a estrutura da vegetação, predominantemente arbustiva, e pela pequena $z_{\text{méd}}$ dos açudes, indicam para a ocorrência de episódios frequentes de mistura completa da coluna d'água.
4. A dinâmica de nutrientes nos açudes Pacajus e Gavião foi caracterizada pela ocorrência de eventos ecológicos dominantes e peculiares a cada período hidro-climático amostrado: i) fertilização por contribuições externas: no açude Pacajus, durante o período chuvoso, a fertilização das águas do reservatório deveu-se principalmente às contribuições alóctones

através do aporte das águas nutriente-enriquecidas do tributário principal (Rio Choró), embora, houvesse, naturalmente, contribuições difusas através do escoamento lateral. No açude Gavião, em virtude da menor influência do regime hidrológico do Rio Cocó sobre o sistema, causada pela presença de uma área alagada na região fluvial do reservatório, as contribuições deveram-se principalmente às águas provenientes do sistema Pacoti-Riachão, menos enriquecidas, e às contribuições laterais, maiores na fase inicial do escoamento; ii) Fertilização interna: durante o período seco, quando as cargas alóctones através dos principais coletores de drenagem e o escoamento lateral são considerados nulos, a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água dos reservatórios tornou-se dependente da eficiência dos processos internos de regeneração, incluindo o processo de fertilização interna através da ressuspensão vento-induzida dos sedimentos de fundo. Vale salientar ainda que os processos de ciclagem de nutrientes ao longo da coluna d'água dos açudes Pacajus e Gavião, especialmente na zona trofогênica, devem ter sido favorecidos pelas elevadas temperaturas da água durante todo o período de estudo.

5. A instalação de estruturas hidráulicas de bombeamento nos reservatórios, como observado no açude Gavião, na sua região lacustre, além de influenciar a estrutura física da coluna d'água, pode causar alterações na qualidade óptica e contribuir sobremaneira para o enriquecimento da coluna d'água através da ressuspensão dos sedimentos.

6. A heterogeneidade espacial, bem como as alterações nas configurações espaciais das unidades amostrais dos açudes Pacajus e Gavião deveram-se a uma combinação de fatores que atuaram com maior ou menor intensidade de acordo com o período hidro-climático considerado. No caso do açude Pacajus, além do tempo de residência, regime hidrológico do rio barrado e características morfométricas, representadas especialmente pela maior extensão do eixo longitudinal principal em relação ao Gavião, deve-se considerar a presença de uma área com vegetação remanescente parcialmente submersa, localizada na região intermediária do reservatório, como peculiaridade ambiental indutora de maior heterogeneidade espacial ao longo do continuum rio-barragem.

7. Apesar da expansão da região fluvial do açude Pacajus observada durante o período de aporte, o elevado tempo de residência dos reservatórios investigados contribuiu para a suavização dos gradientes longitudinais na direção rio-barragem. Este efeito foi especialmente notado no açude Pacajus, onde a atenuação dos pulsos de sais dissolvidos e material em suspensão ao longo de um gradiente hidráulico longitudinal foi responsável pela “proteção” das regiões mais afastadas do ponto inicial de recepção dos mesmos. No açude Gavião, a

menor influência do regime hidrológico do Rio Cocó sobre a região fluvial do reservatório deveu-se ao efeito tamponante da área alagada presente nessa zona, a qual funcionou como sistema natural atenuador de pulsos de matéria e energia. Esta peculiaridade ambiental resultou em menores gradientes longitudinais em relação ao açude Pacajus.

8. A entrada de águas com menor força iônica, melhor qualidade óptica e estado trófico inferior provenientes do subsistema Pacoti-Riachão na altura do ponto GA02, no açude Gavião, deu origem a um compartimento intermediário entre as regiões fluvial e lacustre do reservatório, o qual foi mantido pelo aporte contínuo das águas de transferência hídrica ao reservatório durante o biênio 1998-99. Este procedimento operacional foi um dos principais fatores indutores de variabilidade espacial no reservatório durante o período de estudo.

9. O efeito dos procedimentos de transposição hídrica entre bacias, no caso do açude Pacajus, e de transferências internas, no caso do Gavião, contribuíram não somente para o aumento da capacidade de oferta d'água do sistema de abastecimento frente às demandas setoriais regionais, mas também para a melhoria na qualidade da água principalmente no que diz respeito à concentração de sais dissolvidos e turbidez, variáveis críticas para a escolha dos parâmetros de operação da ETA-Gavião e, conseqüentemente, para a qualidade da água tratada distribuída à população da Região Metropolitana de Fortaleza.

10. A distribuição e a alternância de dominância das espécies do zooplâncton nos açudes Pacajus e Gavião foram condicionadas principalmente pela variabilidade espaço-temporal dos gradientes tróficos. No açude Pacajus, em dez./1998, o caráter hipereutrófico da maior parte dos pontos amostrados favoreceu a dominância de organismos do grupo Rotifera, em especial das espécies dos gêneros *Brachionus* e *Keratela*, indicadores de ambientes nutriente-enriquecidos. A maior abundância das espécies desses gêneros se deu nos compartimentos com estado trófico superior, resultando em gradientes bióticos longitudinais.

11. A alternância de dominância entre as espécies *T. decipiens* e *T. minutus* no açude Pacajus nos dois períodos amostrados deveram-se às diferenças no grau de enriquecimento do reservatório. Em dez./1998 quando as águas do açude foram classificadas como hipereutróficas, predominou *T. decipiens*, enquanto que em jun./1999, o estado trófico inferior das águas favoreceu o crescimento de *T. minutus*. A co-ocorrência e alternância de dominância entre essas duas espécies já foi relatada para reservatórios brasileiros, sendo consideradas características de ambientes nutriente-enriquecidos.

12. A dominância de rotíferos no açude Pacajus em dez./1998 e de *T. decipiens* na maioria das amostras dos dois reservatórios em jun./1999 pode ser considerada como indicador do grau de enriquecimento desses ambientes.

10. Recomendações

1. Estabelecer metodologia para determinação do padrão de circulação dos reservatórios com base em medidas de perfis térmicos em diferentes escalas de tempo e frequência, contemplando reservatórios com diferentes características morfométricas;
2. Investigar a influência do regime de operação dos reservatórios e de variáveis hidráulicas, como o tempo de residência, sobre a sua hidrodinâmica, em especial, sobre o padrão de circulação da coluna d'água;
3. Inferir sobre a influência da hidrodinâmica dos reservatórios sobre a magnitude de processos ecológicos e sua variação espaço-temporal;
4. Investir na instalação de equipamentos de aquisição e transmissão de dados hidrológicos e de forçantes climáticas nas proximidades dos reservatórios, a fim de viabilizar a sua entrada em modelos hidrodinâmicos e de qualidade de água;
5. Investigar a influência do regime de operação dos reservatórios sobre a variação temporal na estrutura das comunidades aquáticas em termos de densidade e composição de espécies, além de eventos ecológico de sucessão ao longo do ano hidrológico;
6. Determinar a produtividade primária fitoplantônica e de macrófitas aquáticas, bem como sua variação espaço-temporal, e sua relação com as cargas afluentes, o padrão de circulação da coluna d'água e a hidrodinâmica dos reservatórios;
7. Caracterizar física e quimicamente os sedimentos de fundo dos reservatórios, bem como sua influência no grau de enriquecimento dos reservatórios, especialmente quando cessadas as contribuições externas através dos afluentes principais.
8. Definir reservatórios-modelo representativos de cada bacia hidrográfica, onde além do monitoramento ordinário, executado pelos órgãos estaduais responsáveis pela execução da política estadual de recursos hídricos, seriam desenvolvidas pesquisas aplicadas com o objetivo de gerar informações que pudessem subsidiar ações de gerenciamento estendidas aos demais reservatórios da bacia;
9. Desenvolver e incluir, dentro de programas de monitoramento futuros e naqueles em andamento, metodologia de estimativa de cargas de nutrientes aos reservatórios, visto que a comparação de dados temporais pode constituir-se em indicador da magnitude da contribuição da bacia para o enriquecimento dos sistemas e, portanto, aferir a eficiência de medidas de redução de cargas poluidoras;

10. Contemplar, na metodologia de estimativa de cargas poluidoras aos reservatórios, não somente as contribuições dos tributários principais, mas também as aquelas relativas às águas de transposição e transferências hídricas, quando houver;
11. Desenvolver estudos de aprimoramento ou criação de índices de qualidade de água, adaptando-os às condições ecológicas dos corpos d'água do semi-árido;
12. Desenvolver metodologias de análise de risco que contemplem variáveis descritivas da qualidade da água de reservatórios para fins de controle e garantia das demandas atuais e futuras;
13. Incentivar parcerias entre instituições de ensino e pesquisa e órgãos estaduais responsáveis pela execução da política estadual de recursos hídricos para viabilização de pesquisas aplicadas, vinculadas aos objetivos do gerenciamento da qualidade da água.

10. Referências Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage, Paper 56. Roma: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>. Acesso em 22/03/2007.
- ANDRADE L. F.; BRUNKOW R. F.; XAVIER C. F.; DOMINGUES L. L. (1988). Fitoplâncton e características físico-químicas do Reservatório de Itaipú, Brazil. In: TUNDISI, J. G. **Limnologia e Manejo de Represas**. Série: Monografias em Limnologia, v.1, p.205-68.
- ANTENUCCI, J.; IMERITO, A. (2003). **The CWR Dynamic Reservoir Simulation Model – DYRESM**. Science Manual. Centre for Water Resource, The University of Western Australia.
- APHA. (1995). **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington: American Public Health Association.
- ARAÚJO, M. F. F.; COSTA, I. A. S.; CHELLAPA, N. T. (2000). Comunidade Fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz, Natal – RN, Brasil. **Act. Limn. Bras.**, v.12, n.1., p.127-140.
- ARCIFA, M. S. (1984). Zooplankton composition of ten reservoirs in southern Brazil. **Hydrobiologia**, 113, p.137-145.
- ARMENGOL, J.; RIERA, J. L.; MORGUÍ, J. A. (1991). Major ionic composition in the Spanish reservoirs. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, n. 24, p. 1363-1366.
- ARMENGOL, J.; GARCIA, J. C.; COMERMA, M.; ROMERO, M.; DOLZ, J., ROURA, M.; HAN, B. H.; VIDAL, A.; SIMEK, K. (1999). Longitudinal processes in canyon type reservoir: the case of Sau (N.E. SPAIN). In: TUNDISI, J. G.; STRAŠKRABA, M. **Theoretical Reservoir Ecology and its Applications**. São Carlos: International Inst. of Ecology Brazilian, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p. 313-345.
- ARRUDA, J. A.; MARZOLF, G. R.; FAULK, R. T. (1983). The role of suspended material sediments in the nutrition of zooplankton in turbid reservoirs. **Ecology**, v. 64, p.1225-1235.

ATTAYDE, J. L. (2003). Efeitos Ecológicos da Introdução da Tilápia do Nilo nos Ecossistemas Lacustres do Semi-árido. **Workshop: Caatinga Estrutura e Funcionamento. Resumos. ???**

AZEVEDO, P. Da Biologia dos peixes nordestinos (fragmentos biocenóticos). In: Livro

Jubilar do Professor Lauro Travassos, 51-60, Rio de Janeiro, 1938.

AZEVEDO, P & VIEIRA, B.B. (1938). Contribuição para o catálogo biológico dos peixes fluviais no Nordeste do Brasil. **Boletim da Inspeção Federal de Obras Contra a Seca**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 82-92.

BARBIERI, R.; IBANEZ, S.R.; ARANHA, F.J.; CORREIA, M.M.F.; REID, J.W. & TURNER, P. (1989). Plâncton, produção primária e alguns fatores físico-químicos de dois lagos da baixada maranhense. **Revista Brasileira Biologia**, v.49, n.2, p.399-408.

BARBOSA, F. A. R.; TUNDISI, J. G. (1980). Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at eastern Brasil. **Arch. Hydrobiol.**, v. 90, p. 139–161.

BARBOSA, J. E. L. (2002). **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicas nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá: trópico semi-árido nordestino**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. 208p, Tese de Doutorado.

BARONE, R.; NASELLI-FLORES, L. (1994). Phytoplankton dynamics in a shallow, hypertrophic reservoir (Lake Arancio, Sicily). **Hydrobiologia**, v. 289, p.199–214.

BEADLE, L. C. (1981). **The inland waters of tropical Africa**. Second Edition. London: Longman. 475p.

BERNOT, R. J.; DODDS, W. K.; QUIST, M. C.; GUY, C. S. (2004). Spatial and temporal variability of zooplankton in a great plains reservoir. **Hydrobiologia**, v. 525, p. 101-112.

BINI, L. M. (2004). Análises Multivariadas e Limnologia: Exploração, Síntese e Inferência de um Mundo Aquático Complexo. In: BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. **Amostragem em Limnologia**. São Carlos: Rima. Cap. 5. p.193-210.

BIRGE, E. A. (1916). The work of the wind in warming a lake. **Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.** v. 18, n.2, p. 341–391.

BOLAND, K. T; GRIFFITHS, D. J. (1995). Seasonal changes in the dissolved oxygen status of two tropical water storages. **Lakes & Reservoirs: Research and Management.** v.1, n. 3, p. 213-219.

BOLMANN, H. A.; MARQUES, D. M. (2000). Bases para a Estruturação de Indicadores de Qualidade de Águas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.37-60, jan./mar.

BRASIL (2005) - *Resolução CONAMA 357, de 18/03/2005. Dispõe sobre a classificação das águas.* Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: 20/03/2007.

BRUTON, M. N. (1985). The effects of suspensoids on fish. **Hydrobiologia**, v. 125, p. 221-241.

BUCKNEY, R. T.; TYLER, P. A. (1973). Chemistry of Tasmanian Inland Waters. **Int. Revue Ges. Hydrobiol.**, v. 58, p. 61–78.

SERRUYA, C.; LEVENTER, H. (1984). Lakes and reservoirs of Israel. In: TAUB, F. B. **Lakes and Reservoirs**, Amsterdam: Elsevier, p. 357-383.

CADIER, E., DOHERTY, M.J., MOLLE, F. (1987). Alterações dos regimes hidrológicos provocados por represas de diversos tamanhos no Nordeste brasileiro. **Anais do VII Simpósio da ABRH**, Salvador, vol. 4, p. 148-158.

CADIER, E., ALBUQUERQUE, C.H.C., ARAUJO-FILHO, P.F., NASCIMENTO, P.H.P., MONTGAILLARD, M. (1989). Dimensionamento de pequenos reservatórios superficiais do Nordeste semi-árido. **Anais do VIII Simpósio da ABRH**, Foz do Iguaçu, vol. 1, p. 202-213.

CADIER, E. (1994). **Hidrologia das pequenas bacias do Nordeste semiárido: Transposição Hidrológica**. Recife: SUDENE, DPG. PRN. HME, 448p.

CALIJURI, M. C.; FREIRE, R. H. F.; PAULINO, W. D. (2004). Turbidez Inorgânica como Fator Controlador da Biomassa Algal de um Reservatório do Semi-Árido Brasileiro: Açude Acarape do Meio, Ceará-Brasil. In: **Simpósio de Ecologia de Reservatórios: Impactos**

Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas de Cascata. 2004, Avaré. Programação e Livro de Resumos. Avaré: Instituto de Biociências, UNESP. p. 48.

CALIJURI, M.C.; DOS SANTOS, A. (2001). Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP-Brazil). **Hydrobiologia**, v. 445, p. 11-26.

CALIJURI, M.C. (1988). *Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, 293p.

CALIJURI, M.C. (1999). A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP). Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 211p.

CARDOSO, M. M. L.; SOUZA, J. E. R. T.; CRISPIM, M. C. (2005). Efeito da introdução da tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus 1758) em diferentes ambientes aquáticos do semi-árido paraibano. In: **Encontro Intercontinental da Natureza**, 2005, Fortaleza. Anais do Encontro Intercontinental da Natureza.

CARLSON, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, p.361–369.

CARPER, G.L.; BACHMANN, R.W. (1983). Wind resuspension of sediments in a prairie lake. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 41, p. 1319-1326.

CARRICK, H. J.; ALDRIDGE, F.J.; SCHLSKE, C.L. (1993). Wind Influences Phytoplankton Biomass and Composition in a Shallow, Productive Lake. **Limnology and Oceanography**, v. 38, p. 1179-1192.

CASTAGNINO, W. A. (1982). **Investigación de Modelos Simplificados de Eutroficación en Lagos Tropicales**. Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Versión revisada. 30p.

CEARÁ. (1998). **Diagnóstico e projeto de Recuperação da Infraestrutura Hídrica de Água Bruta do Sistema Metropolitano**. Fase A – Diagnóstico, Volume IV – Identificação do Nível de Ocupação das Bacias Hidráulicas dos Açudes Integrantes do Sistema. Fortaleza: SRH/COGERH/VBA Consultores.

CEARÁ. (1999). **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. Relatório de Fase I – Tomo I – Diagnóstico e Estudos Básicos. Fortaleza: SRH/COGERH/VBA Consultores.

CEBALLOS, B.S.O.; KONIG, A.; LIMA, E.O.; URTIGA, R.F. & ARAUJO, A.M. (1990). Comparative study of microbiological indicators of pollution in fresh waters. **Proceeding Second Biennial Water Quality Symposium Microbiological Aspects**. Chile, p: 233-236.

CEBALLOS, B.S.O.; KONIG, A.; LIMA, E.O.; BRASILEIRO, J.D.M.; ARAUJO, A.M. (1991a) .Fontes de água usadas por comunidades rurais da Paraíba. II Qualidade de águas de açudes de pequeno e médio porte. **Anais 43º Reunião Anual SBPC**, p. 675-676.

CEBALLOS, B.S.O.; ARAUJO, A.M. & KONIG, A. (1991b). Indicadores microbiológicos na avaliação de poluição orgânica em um lago oligotrófico. **Anais 16º Congres. Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental**. Goiania, 20 a 27 de Set./91., v. 2, n. 1, p. 35-47.

CEBALLOS, B. S. O. (1995). **Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de Ecossistemas Aquáticos do Trópico Semi-Árido**. Tese (Doutorado), Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo: 192p.

CEBALLOS, B.S.O.; KONIG, A.; OLIVEIRA, J.F. (1998). Dam reservoir eutrophication: a simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation. **Water Research**, 32 (11): 3477-3483.

CHELLAPPA, N.T. (1982). Studies on the primary productivity in Rio Potengi, Natal: seasonal variation in productivity. **Rev. Algol**. v. 21, p 171-175.

CHELLAPPA, N.T. (1986). Studies on microalgae of Rio Grande do Norte, Brasil: littoral diatoms. **Biologia Czeckoslavia**, v. 37, p. 102-106.

CHELLAPPA, N.T. (1988). Studies on microalgae of Rio Grande do Norte: a statistical approach in assessing primary productivity of periphytic algae. **Anais do I Congresso de Ciências**, UFRN, Natal, p. 26-28.

CHELLAPPA, N.T. (1989). Studies on microalgae fo Rio Grande do Norte – 1. A statistical approach in assessing primary prductivity of periphytic algae. **Anais do I Congresso de Ciências**, UFRN, Natal, p. 26-28.

CHELLAPPA, N.T. (1991a). Studies on microalgae of Rio Grande do Norte – 2. Analysis of Phytoplankton communities by product-moment correlation and multiple regression analysis. **Boletim do Dol**. UFRN 8, p. 21-39.

CHELLAPPA, N.T. (1991b). Studies on microalgae of Rio Grande do Norte – 3. phytoplankton from hypersaline lagoons of Macau/RN. **Boletim do Dol**. UFRN 8, p. 41-51.

CHELLAPPA, N.T., AMORIM, J.M.F., BEZERRA, T.A. OLIVEIRA, V.C. & COSTA, I.A. (1996). Studies on microalgae of Rio Grande do Norte, Brazil. A comparison of phytoplankton assemblages of oligotrophic and eutrophic lake. **Nova Headwigia**, 112: 513-524 .

CHENG, D. M. H.; TYLER, P. A. (1973). Lakes Sorell and Crescent – a Tasmanian Paradox. **Int. Rev. Ges Hydrobiol.**, v. 58, n. 3, p.307–343.

COCHE, A. G., (1974). Limnological study of a tropical reservoir. In: BALON, E. K.; COCHE, A. G. **Lake Kariba: A man-made tropical ecosystem in Central Africa**. Dr. W. Junk b. v. Publishers. ???

COLE, T. M.; HANNAN, H. H. (1990). Dissolved Oxygen Dynamics. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnological – Ecological Perspectives**. New York: John Wiley and Sons, p. 71-108.

COSTA, I. A. S.; AZEVEDO, S. M. F. O; SENNA, P. A. C.; BERNARDO, R.R.; COSTA, S.M.; CHEPALLA, N.T. (2006). Ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias em um reservatório no semi-árido brasileiro. **Braz. J. Biol.**, v. 66, n.1b, p.211-219.

CRISPIM, M. C.; WATANABE, T. (2000). Caracterização Limnológica das bacias doadoras e receptoras de águas do Rio São Francisco: 1 – Zooplâncton. **Act. Limn. Bras.**, v.12, n.2, p.93-104.

CRISTOFOR, S.; VADINEANU, A.; IGNAT, G.; CIUBUC, C. (1994). Factors affecting light penetration in shallow lakes. **Hydrobiologia**, v. 275/276, p. 493-498.

D'ASSUMPÇÃO, A L. G.; AMORIM, B. (1996). Avaliação de parâmetros de qualidade da água do açude Mundaú–CE. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 3, 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: ABRH, 1996. 569p. p.397-402.

D'ASSUMPÇÃO, A. L. G.; AMORIM, B. (1997). Caracterização da qualidade da água em reservatórios das bacias metropolitanas, Ceará – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 7, 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: ABRH, 1997. 718p. p.257-264.

DATSENKO, Y. S. (1999). **Estudo da qualidade da água dos reservatórios do Estado do Ceará**. Fortaleza. Relatório. 187p.

DATSENKO, Y. S.; SANTAELLA, S. T.; ARAÚJO, J. C. (1999). Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes do Semi-Árido. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 20, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999, p. 2220-2226.

DATSENKO, Y.; LEITÃO, R. C. (1994). Análise dos dados de qualidade da água na Bacia do Rio Curu. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2, 1994, Fortaleza. *Anais...*Fortaleza: ABRH, 1994, p.29-36.

De MOTT, W. R. (1988). Discrimination between algae and detritus by freshwater and marine zooplankton. **Bull. Mar. Sci.**, v. 43:, p.486-499.

De MOTT, W. R. (1989) The role of competition in zooplankton succession. In: SOMMER, V. **Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities**. Berlim: Springer-Verlag. 379p.

DOS SANTOS, A. C. (2003). **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de dois reservatórios com diferentes graus de trofia**. 208f. Tese (Doutorado). PPG em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DREVER, J. I. (1988). **The Geochemistry of Natural Waters**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 388p.

DROUET, F.; PATRICK, R. & SMITH, L.B. (1938). A flora de quatro açudes da Parahyba. **Annaes da Academia Brasileira de Sciencias**, v. 10, n. 2, p. 89-104.

ECKER, B.; WALZ, N. (1998). Zooplankton succession and thermal stratification in the polymitic shallow Müggelsee (Berlin, Germany): a case for the intermediate disturbances hypothesis? **Hydrobiologia**, v. 337/338, p.199-206.

EDMONDSON, W. T. (1959). **Freshwater biology**. New York: John Wiley & Sons. 1248p.

ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. (1997). **Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil**. Brasília: Universa. 156p.

EMBRAPA (2001). Dados Climatológicos – Estação de Pacajus (2000). Boletim Agrometeorológico n°. 24.

ENRICH-PRAST, A (2005). Caminhos do Nitrogênio em Ecossistemas Aquáticos Continentais. In: ROLAND, F.; CÉSAR, D.; MARINHO, M. **Lições de Limnologia**. São Carlos: RIMA, 517p.

ERIKSON, R.; HOOKER, E.; MEIJA, M.; ZELAYA, A.; VAMMEN, K. (1998) Optimal conditions for primary production in a polymitic tropical lake (Lake Xolotlán, Nicaragua). **Hydrobiologia**, v. 282, p. 1-16.

ESPÍNDOLA, E. L. G. (1994). **Dinâmica da associação congênica das espécies de *Notodiaptomus* (Copepoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita, São Paulo**. 363f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

ESTEVES, F. A. (1988) **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 575 p.

ESTEVES, F. A.; SENDACZ, S. (1988). Relações entre biomassa do zooplâncton e o estado trófico de reservatórios do Estado de São Paulo. **Acta Limnologica Brasilensia**, v. 2 p.587-604.

FAITHFUL, J.; GRIFFITHS, D. (2000). Turbid flow through a tropical reservoir (Lake Dalrymple, Queensland, Australia): Responses to a summer storm event. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 5, p.231-247.

FERNANDEZ-ROSADO. M. J.; LUCENA J.; NIELL. F.X. (1994). Space–time heterogeneity of the chlorophyll-a distribution in La Concepcion Reservoir (Istán, Málaga). Representative Models. **Arch. Hydrobiol.**, v. 4, p.311–25.

FERNANDO, C. H.; TUDORANCEA, C.; MENGESTOU, S. I. (1990). Invertebrate zooplankton predator composition and diversity in tropical lentic waters. **Hydrobiologia**, v. 198, p.13-31.

FERREIRA, R. A. R. (1998). **Flutuações de curto prazo da comunidade zooplantônica na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, São Paulo), em duas estações do ano (seca e chuvosa)**. 227f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

FERREIRA, R.M.; BARROS, N.O.; DUQUE-ESTRADA, C.H.; ROLAND, F. (2005). Caminhos do Fósforo em Ecossistemas Aquáticos Continentais. In: ROLAND, F.; CÉSAR, D.; MARINHO, M. **Lições de Limnologia**. RIMA, 517p.

FIGUEREDO, C. C. (2000). **Efeitos da tilápia (*Oreochromis niloticus*) nas características físicas e químicas e estrutura da comunidade fitoplanctônica do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (MG)**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais. ???

FORD, D. E. (1990). Reservoir transport processes. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. New York: John Wiley & Sons. P. 15-41.

FREIRE, R. H. F.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, A. C.; PAULINO, W. D. (2004). Padrões de Zonação Longitudinal em um Reservatório do Semi-Árido Brasileiro; Açude Pacajus, Ceará-Brasil. In: **Simpósio de Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas de Cascata**. 2004, Avaré. Programação e Livro de Resumos. Avaré: Instituto de Biociências, UNESP. p.28.

FULTON, R. S. (1988). Grazing on filamentous algae by herbivorous zooplankton. **Freshwater Biology**, v. 20, p.263-271.

FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES, FADURPE. (2005). **Monitoramento Limnológico e Avaliação da Qualidade da água do Açude da UHE Araras**. 1º. Relatório Trimestral, Setembro-Novembro, 2005.

FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES, FADURPE. (2006). **Monitoramento Limnológico e Avaliação da Qualidade da água do Açude da UHE Araras**. 2º. Relatório Trimestral, Dezembro/2005-Fevereiro/2006.

GIANI, A.; DELGADO, P.C.S. (1998). Growth dynamics and competitive ability of a green (*Oocystis lacustris*) and a blue green algae (*Synechocystis* sp.) under different N:P ratios. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 26, p. 1693-1697.

GIBBS, R.J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. **Science**, v. 170, p. 1088-1090.

GOLDEN SOFTWARE, INC. (1999). **Surfer for windows: realese 7.0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York. 619p.

GREGG, W. W.; ROSE, F. L. (1982). The effects of aquatic macrophytes on the stream micro-environment. **Aquatic Botany**, v. 14, p. 309-324.

GRIETHUYSEN, C. V.; LUITWIELER M.; JOZIASSE, J.; KOELMANS, A. A. (2005). Temporal variation of trace metal geochemistry in floodplain lake sediment subject to dynamic hydrological conditions. **Environmental Pollution**, v. 137, p. 281-294.

GROBBELAAR, J. U. (1985). Phytoplankton productivity in turbid waters. **Journal of Plankton Research**, v. 7, p. 653-663.

GROBBELAAR, J. U. (1989) The contribution of phytoplankton productivity in turbid freshwaters to their trophic status. **Hydrobiologia**, v. 173, p. 127-133.

GROBBELAAR, J.U. (1992). Nutrients versus physical factors in determining the primary productivity of waters with high inorganic turbidity. **Hydrobiologia**, v. 238, p.177-182.

GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J. W. C. (2003). The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Mmanagement**, v. 8, n. 3-4, p.201-220.

HAKANSON, L.; PETERS, R. H. (1995). **Predictive Limnology: Methods for predictive modelling**. Amsterdam: SPB Academic Publishers. 464p.

HAMMER, D. A.; BATIAN, R. K. (1989). Wetlands ecosystems: natural water purifiers? In: HAMMER, D.A. (Ed.). **Constructed wetlands for waster treatment: municipal, industrial and agricultural**. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan: 5-19.

HAN, B. P.; ARMENGOL, J.; GARCIA, J. C.; COMERMA, M.; ROURA, M.; DOLZ, J.; STRASKRABA, M. (2000). The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): a simulation approach. **Ecol. Mod.**, v. 125, p. 109–122.

HART, B. T.; MCKELVIE, I. D. (1986). Chemical limnology in Australia. In: DE DECKKER, P.; WILLIAMS, W. D. **Limnology in Australia**. Melbourne and Dordrecht: CSIRO and Junk. P. 3-31.

HART, R. C. (1986). Zooplankton density, community structure and dynamics in relation to inorganic turbidity, and the implications for a potential fishery in subtropical Lake le Roux, South Africa. **Freshwst. Biol.**, v. 16, p.351-371.

HART, R. C. (1988). Zooplankton feeding rates in relation to suspended sediment content: potential influences on community structure in a turbid tropical reservoir. **Freshwat. Biol.**, v. 19, p.123-139.

HARTLEY, A.; HOUSE, W.; CALLOW M.; LEADBETTER B. (1997). Coprecipitation of phosphates with calcite in the presence of photosynthesizing green algae. **Water Research**, v. 31, n.9, p.2261-2268.

HARTLEY, A.; HOUSE, W.; CALLOW, M.; LEADBETTER, B. (1996). The use of microelectrodes to study the precipitation of calcite upon algal biofilms. **J. Colloid. Interface Sci.**, v. 183, p. 498-505.

HAVENS, K.E.; PHILPS, E.J.; CICHRA, M.F.; BAI-LIAN, L. (1998). Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake. **Freshwater Biology**, v. 39, p. 547-556.

HEJZLAR, J.; STRASKRABA, M. (1989). On the horizontal distribution of limnological variables in Rimov and others stratified Czechoslovak Reservoirs. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, v. 4, p. 41–55.

HELLSTROM, T. (1991). The effect of resuspension on algal production in a shallow lake. **Hydrobiologia**, v. 213, p. 183-190.

HENRY, R. (1986). O crescimento potencial do fitoplâncton da Represa de Barra Bonita (Rio Tietê – SP): uma comparação sazonal dos efeitos de enriquecimento artificial em amostras de seus tributários. **Ciênc. Cult.**, v. 38, n. 9, p. 1553-1564.

HENRY, R. (1990). **Estrutura Espacial e Temporal do ambiente Físico e Químico e Análise de alguns Processos Ecológicos na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua Bacia Hidrográfica**. 242f. Tese (Livre Docência). Instituto de Biociências. UNESP, Botucatu, 1990.

HENRY, R.; HINO, K.; GENTIL, J.G.; TUNDISI, J.G. (1985). Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplanktonic in the Barra Bonita Reservoir (State of São Paulo, Brazil). **Int. Rev. Ges. Hydrobiol.**, v. 70, n. 4, p. 561-573.

HENRY, R.; MARICATO, F. E. (1996). Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). **Limnologica**, v. 26, p.15-25.

HENRY, R.; NOGUEIRA, M.G. (1999). A represa de Jurumirim (São Paulo): primeira síntese sobre o conhecimento limnológico e uma proposta preliminar de manejo ambiental. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FAPESP/FUNDIBIO, p. 655-685.

HENRY, R.; TUNDISI, J.G. (1982). Efeitos de enriquecimento artificial por nitrato e fosfato no crescimento da comunidade fitoplancônica da represa do Lobo (Broa-Brotas-Itirapina-SP). **Ciência e Cultura**, v. 34, p. 518-524.

HENRY, R.; TUNDISI, J.G. (1983). Responses of the phytoplanktonic community of a tropical reservoir (São Paulo, Brasil) to the enrichment with nitrate, phosphate and EDTA. **Int. Revue. Ges. Hydrobiol.**, v. 38, p. 853-862.

HENRY, R.; TUNDISI, J.G.; CURI, P.R. (1984). Effects of phosphorus and nitrogen enrichment on the phytoplanktonic in a tropical reservoir (Lobo Reservoir, Brazil). **Hydrobiologia**, v. 188, n. 4, p. 177-185.

HOCKING, G. C.; STRAŠKRABA, M. (1999). The effect of light extinction on thermal stratification in reservoirs and lakes. **International Review of Hydrobiology**, v. 84, p. 535–556.

HUSZAR, V.L.M.; BICUDO, D.C; GIANI, A.; FERRAGUT. C.; MARTINELLI, L.A.; HENRY, R. (2005). Subsídios para Compreensão sobre a Limitação por Nutrientes ao Crescimento do Fitoplâncton e do Perifíton em Ecossistemas Lênticos do Brasil. In: ROLAND, F.; CÉSAR, D.; MARINHO, M. **Lições de Limnologia**. São Carlos: RIMA, p. 243-460.

HUTCHINSON, G. E. (1957). **A Treatise on Limnology**. v. 1. New York : John Wiley & Sons. 1015p.

IGNATIEVA, N., V. (1996) Distribution and release of sedimentary phosphorus in Lake Ladoga. **Hydrobiologia**, v. 322, p. 129-136.

IHERING, R. & AZEVEDO, P.A (1934). Curimatã dos açudes nordestinos (*Prochilodus argenteus*). **Arquivos do Instituto de Biologia**, São Paulo, v. 5, p. 143-184.

INMET (1992). **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: 84p.

IPLANCE. (2002). **Diagnóstico Social do Ceará**. Fortaleza: Edições IPLANCE. 319p.

JIN, X.; HU, X. (2003). A comprehensive plan for treating the major polluted regions of Lake Taihu, China. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 2/3, p.217-30.

JORGENSEN, S. E. (1990). Management Tools. In: JORGENSEN, S. E.; LOFFLER, H. Guidelines for lake management- Lake shore management. v. 3. ILEC/ UNEP. 174p.

KAO, J.; LIN; W.-L. & TSAI, C. -H. (1998). Dynamic Spatial Modeling Approach for Estimation of Internal Phosphorus Load. **Wat. Res.**, v. 32, p. 47-56.

KEBEDE, E.; -MARIAM, Z.G. & AHLGREN, I. (1994). The Ethiopian Rift Valley Lakes: Chemical characteristics of a salinity-alkalinity series. **Hydrobiologia**, v. 288, p. 1-12.

KELTS, K.; HSÜ K. J. (1978). Freshwater carbonate sedimentation. In LERMAN, A. (ed.), **Lakes: Chemistry, Geology, Physics**. N.Y: Springer-Verlag. 363p.

KIMMEL, B.L.; LIND, O.T.; PAULSON, L.J. (1990). Reservoir Primary Production. In: THORNTON, K.W., KIMMEL, B.L., PAYNE, F.E. (Eds.) **Reservoir Limnology - Ecological Perspectives**, New York: John Wiley and Sons, p. 133-194.

KIRA, T. (1990). Shore management in Lake Biwa. In: JORGENSEN, S.E.; LOFFLER, H. **Guidelines of lake management**. Vol. 3: Lake Shore Management. International Lake Environment Committee Foundation and The United Nations Environment protection, Otsu, p. 153-169.

KIRK, J.T.O. (1986). **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2 ed., Cambridge: Cambridge University Press. 401p.

KIRK, K. L.; GILBERT, J. J. (1990). Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. **Ecology**, v. 71, p.1741-1755.

KNUUTTILA, S.; PIETILAINEN, O. -P. & KAUPPI; L. (1994). Nutrient Balances and Phytoplankton dynamics in two agricultural loaded shallow lakes. **Hydrobiologia**, v. 275/276, p. 359-369.

KONIG, A., CEBALLOS, B.S.O. & CASTRO, S.P. (1990). As descargas clandestinas de esgotos e seu efeito na degradação das águas do Açude Velho, Campina Grande, PB. **Anais do Seminário Regional de Engenharia Civil**, Recife, p: 653-662.

KOSTE, W. (1978). **Rotatoria – Die radetiere mitteleuropas. II Tafelband**. Berlin: Gebrüder Borntraeger. ???

KOVACH COMPUTING SERVICES. (2004). **Oriana circular statistics software version 2.01c**. Kovach Computing Services.

KRYLOVA, J. V.; KURASHOV, E. A.; KORKISHKO, N. N. (2003). The pollution of Lake Ladoga by organochlorine pesticides and petroleum products. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 3/4, p.231-476.

KURATA, A. & KIRA, T. (1990). Water Quality Aspects. In: JORGENSEN, S.E.; LOFFLER, H. **Guidelines of lake management**. Vol. 3: Lake Shore Management. International Lake Environment Committee Foundation and The United Nations Environment protection, Otsu, p. 21-37.

LANDIM, P. M. B. (2003). Análise estatística de dados geológicos. Rio Claro: Editora Unesp. TOWNSEND, S. A. (1998). The influence of retention time and wind exposure on

stratification and mixing in two tropical Australian reservoirs. **Arch. Hydrobiol.**, v. 141, p.353–71.

LANDIM, P. M. B. (2000). Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20p. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em 22 de março de 2007.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. (2002). Introdução à Confecção de mapas pelo Software Surfer. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21p. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em 22 de março de 2007.

LANE, R. R.; MASHRIQUI, H. S.; KEMP, G. P., DAY, J. W. & HAMILTON, J. N. (2003). A Potential nitrate removal from a river diversion into a Mississippi delta forested wetland. **Ecological Engineering**, v. 20, p. 237-49.

LANSAC-TÔHA, F. A.; VELHO, L. F. M.; BONECKER, C. C. (1999). Estrutura da comunidade zooplancônica antes e após a formação do reservatório de Corumbá-GO. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO/FAPESP. 800p.

LARAQUE, A. (1989a). **Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife, SUDENE-DPG-PRN-GT-HME, 91p.

LARAQUE, A. (1989b). Simsal: um modelo de previsão da salinização dos açudes do Nordeste brasileiro. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro da ABRH**, Foz do Iguaçu, v.2, p. 638-649.

LARAQUE, A. (1991). Comportements **hidrochimiques des açudes du Nordeste Brésilien semi-árido**. Doutorado. Université de Montpellier II, Montpellier França., 363p.

LEGENDRE, P. AND LEGENDRE, L. (1998). **Numerical Ecology** (Second English Edition). Amsterdam: Elsevier Science B.V. 852p.

LEITÃO, R. C.; DATSENKO, Y.; SANTAELLA, S. T. (1995). Estudo preliminar da qualidade da água nos açudes do Ceará. – parte 2 (oxigênio dissolvido e pH). In: **Simpósio**

Brasileiro de Recursos Hídricos, 11, SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2, 1995. Recife. *Anais...* Recife: ABRH, 1995b. 454p. p. 445-458.

LERMAN, A. (1978). **Chemical Exchange Across Sediment-Water Interface**. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, May 1978, Vol. 6, Pages 281-303.

LEWIS, W. M. Jr. (1973). The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. **Limnol Oceanogr.**, v. 18, p. 200-217.

LEWIS, W. M. Jr. (1983). Temperature, heat, and mixing in Lake Valencia, Venezuela. **Limnol. Oceanogr.**, v. 28, p. 273-286.

LIND, O. T.; DOYLE, R.; VODOPICH, D. S.; TROTTER, B. G.; LIMON, J. G.; DAVALOS-LIND, L. (1992). Clay turbidity: Regulation of phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake. **Limnol. Oceanogr.**, v. 37, p. 549-565.

LINS, Carlos Caldas. (1989). **Região Semi-árida**. SUDENE/CPNE/EEP/SRU.

LOPES, R. M.; LANSAC-TÔHA, F. A.; VALE, R.; SERAFIM Jr., M. (1997). Comunidade zooplancônica do reservatório de Segredo. In: AGOSTINHO A. A.; GOMES, L. C. **Reservatório de Segredo: Bases Ecológicas para o Manejo**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá. P. 39-60.

LOUREIRO, L. M. A. E. (1988). O gênero *Bosmina* (Cladocera) na região do Distrito Federal. **Acta Limnol. Bras.**, v. 2, p. 501-512.

MACEINA, M.J. & SOBALLE, D. M. (1990). Wind-related limnological variation in Lake Okeechobee, Florida. **Lake Reservoir Manage.**, v. 6, p. 93-100.

MAGADZA, C. H. D. (2003). Lake Chiviero: A management case study. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 2, p. 69-82.

MARGALEF, R. (1983). **Limnología**. Barcelona: Ediciones Omega. 1010p.

MASUNDIRE, H. (1989). Zooplankton population dynamics in the Sanyati Basin, Lake Kariba, Zimbabwe. **Arch. Hydrobiol.**, v. 33, p. 469-473.

- MATSUMURA-TUNDISI, T. (1984). Occurrence of species of the genus *Daphnia* in Brazil. **Hydrobiol.**, v. 112, p.161-165.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. (1986). Latitudinal distribution of Calanoida copepods in freshwater aquatic systems of Brazil. **Rev. Bras. Biol.**, v. 46, n. 3, p. 527-553.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; LEITÃO, S. N.; AGHENA, L. S.; MIYAHARA, J. (1990). Eutrofização da represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de Rotífera. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 50, n. 4, p. 923-935.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; RIETZLER, A. C.; TUNDISI, J. G. (1989). Biomasa (dry and weight and carbon content) of plankton Crustacea from Broa Reservoir (São Carlos, SP, Brazil) and its fluctuation across one year. **Hydrobiologia**, v. 179, p. 229-236.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. (1983). Occurrence of copepod (Calanoida and Harpacticoida) from “Broa” reservoir (São Carlos, São Paulo, Brazil). **Rev. Bras. Biol.**, v. 43, n. 1, p. 1-17.
- McCARTHY, J.J.; TAYLOR, W.R.; TALF, J.L. (1977). Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. 1. Nutrient availability and phytoplanktonic preferences. **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, p. 996-1011.
- MELACK J. M.; FISCHER T. R. (1983). Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon floodplain lakes. **Arch. Hydrobiol.**, v. 98, p.422-42.
- MENESCAL, R. A, VIANA, F. L., FIGUEIREDO, N. N., GONDIM FILHO, J. G. C. (2004). Gestão dos Recursos Hídricos e a Garantia do Abastecimento Humano de Grandes Aglomerados Urbanos no Semi-árido – O caso de Fortaleza. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p.217-?. jan./mar.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. (2000). **Wetlands**. Van Nostrand Reinhold (3rd ed.), New York. 722p.
- MITSUKA, P. M. (1998). **Empobrecimento da comunidade zooplanctônica após a passagem pela barragem da Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP)**. 237f. Tese (Doutorado), UNESP, 1998.

MOLLE, F. (1985). **Potentialités des “açudes” du Nordeste brésilien pour um usage en irrigation.** Montpellier, França, Mémoire ENGREF, 142p.

MOLLE, F., CADIER, E. & CAMPELLO, M.S. (1985). Modelização do funcionamento de pequenos reservatórios com múltiplos usos. **Anais do VI Simpósio Brasileiro da ABRH**, São Paulo, v.2, p. 343-354.

MOLLE, F., BARRETO, F., MEDEIROS, R.D. & DOHERTY, R. (1988). Alguns aspectos da pequena irrigação com base em açudes. **Anais do III Congresso da ABID**, Florianópolis, 17p.

MOLLE, F. (1991). **Caracteristiques et potentialités des “açudes” du Nordeste brésilien.** These de Doutorado, Universite Montpellier II, 380p.

MOLLE, F. (1992). **Geometria dos pequenos açudes.** Recife, SUDENE-DPG-PRN-GT.HME, 126p.

MOLLE, F. (1994). **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento.** Recife, SUDENE-DPG-PRN-GT.HME, 171p.

MOLLE, F. & CADIER, E. (1992). **Manual do pequeno açude.** Recife, SUDENE-DPG-PRN-GT.HME, 520p.

MONISMITH, S. G.; IMBERGER, J.; MORISON, M. L. (1990). Convective motions in the sidearm of a small reservoir. **Limnology and Oceanography**, v. 35, p.1676–1702.

MULI, J. R. (1996). Environment problems of Lake Victoria (East Africa): What the international community can do. **Lakes and Reservoirs: Research and Management.**, v. 2, p. 47-53.

NASELLI-FLORES, L. (1999). Limnological aspects of sicilian reservoirs: A Comparative Ecosystemic Approach. In: TUNDISI, J. G.; STRASKABRA, M. **Theoretical Reservoir Ecology and its Applications.** São Carlos: International Inst. of Ecology Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p. 238-311.

NOGUEIRA, M. G. (1996). **Composição, abundância e distribuição espaço-temporal das populações planctônicas e das variáveis físico-químicas na Represa de Jurumirim, Rio**

Paranapanema, SP. 439f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

NOGUEIRA, M. G. (2000). Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River – SP). **Acta Limnol. Brasil.**, v. 9, p. 55-81.

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

NOGUEIRA, M. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1994). Limnologia de um sistema raso (represa do Monjolinho - São Carlos, SP). I - Dinâmica das variáveis físicas e químicas. **Rev. Brasil. Biol.**, 54, p.147-159.

NOGUEIRA, M. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1996). Limnologia de um sistema artificial raso (represa de Monjolinho – São Carlos, SP). Dinâmica das populações planctônicas. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 8, p. 149-168.

NOGUEIRA, M. G.; PANARELLI, E. (1997). Estudo da migração vertical das populações de zooplantônicas na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). **Acta Limnol. Brasil.**, v. 9, p. 55-81.

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

OECD. (1982). **Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control**. Paris: OECD. 156p.

OLIVEIRA, M. S.; MAVIGNIER, A. L.; LIMA, M. R. M. C. (1996). Estudo da qualidade e variação salina no reservatório Pereira de Miranda no Vale do Rio Curu, durante o período de seca, 1981/1984. In: **Simpósio de Recursos Hídricos Do Nordeste**, 3, 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: ABRH, 1996. 569p. p.371-374.

PAGGI, J. C. (1995). Crustacea Cladocera. In: LOPRETTO, E. C.; TELL, G. **Ecossistemas de aguas continentales: Metodología para su estudio**. 3 ed., Ediciones Sur. p. 909-951.

PAGGI, J. C., 1995, Crustacea Cladocera. In: E. C. Lopretto & G. Tell (eds.), *Ecossistemas de Aguas Continentales: Metodologia para su Estudio. Ediciones Sur*, 3 ed. La Plata, pp. 909-951.

PANARELLI, E. A.; NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R. (2001). Short-term variability of Copepoda abundance in Jurumirim Reservoir, São Paulo – Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 61, n. 4, p. 577-598.

PARANAGUÁ, M. N.; NEWMANN-LEITÃO, S. (1982). Rotíferos de Pernambuco. II. Espécies planctônicas que ocorrem nos viveiros de camarões do Cabo-PE. **Trab. Oceanogr. UFPE**, v. 17, p.123-142.

PAYNE, A. I., (1986). **The ecology of tropical lakes and rivers**. Chicheste: John Wiley & Sons. 301p.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M.C.B. (2003). Macrófitas Aquáticas como Agentes Filtradores de Materiais Particulados, Sedimentos e Nutrientes. In: HENRY, R. **Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos**. São Carlos: FUNDIBIO/RIMA, 349p.

PENNAK, R. W. (1978). **Freshwater invertebrates of the United States**. Nova York: Ronald Press. 803p.

PERROW, M.R., MOSS, B. & STANFIELD, J. (1994). Trophic Interactions in a shallow lake following a reduction in nutrient loading: a long-term study. **Hydrobiologia**, v. 275/276, p. 43-52.

PHILPS, E.J.; CICHRA, M.; HAVENS, K.E.; HANLON, C.; BADYLAK, S.; RUETER, B.; RANDALL, M. & HANSEN, P. (1997) Relationships between phytoplankton dynamics and the availability of light and nutrients in a shallow subtropical lake. **Journal of Plankton Research**, v. 19, p. 319-342.

PIERSON, D.C. & WEYHENMEYER, G.A. (1994). High resolution measurements of sediment resuspension above an accumulation bottom in a stratified lake. **Hydrobiologia**, v. 284, p. 43-57.

PINTO-COELHO, R. M. (1987). Flutuações sazonais e de curta duração na comunidade zooplanctônica do Lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil. **Ver. Brasil. Biol.**, v. 47, p. 17-29.

- PIYASIRI, S.; JAYAKODY, J. K. U. (1991). Ecology of zooplankton in Victoria Reservoir, Sri Lanka: I. Composition and population structure of the zooplankton. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, v. 24, p. 1430-1435.
- POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; COSTA NETO, J. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; IBANEZ, M. S. R.; FERREIRA-CORREIA, M. M.; BARBIERI, R. (1998). Heterogeneidade Espacial do Fitoplâncton no Reservatório de Boa Esperança (Maranhão – Piauí, Brasil). (1998). *Act. Limn. Bras.*, v.10, n.2., p.101-113.
- RAMM, K. & SCHEPS, V. (1997). Phosphorus balance of a polytrophic shallow lake with the consideration of phosphorus release. *Hydrobiologia*, v. 342/343, p. 43-53.
- REID, J. W.; MORENO, I. H. (1990). The Copepoda (Crustacea) of the southern Pantanal, Brazil. *Acta Limnol. Brasil.*, v. 3, p. 721-739.
- REYNOLDS, C.S. (1984). **The Ecology of freshwater phytoplankton**. (Cambridge studies in ecology). Cambridge University Press, Cambridge, 384p.
- REYNOLDS, C.S. (1999). Non-determinism to probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol.*, v. 146, n. 1, p. 23-35, 1999.
- RHEE, G.Y. (1978). Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnol. Oceanogr.*, v. 23, n. 1, p. 10-25.
- RHEE, G.Y.; GOTHAM, I. J. (1980). Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. *J. Phycol.*, v. 16, p. 486-489.
- RIETZLER, A. C.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (1998). Microcystis as a food source for copepods in a subtropical eutrophic reservoir. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v. 26, p. 2001-2005.
- ROBERTS, R. D.; WAISER, M. J.; HADAS, O.; ZOHARY, T. & MACINTYRE, S. (1998). Relaxation of phosphorus limitation due to typhoon-induced mixing in two morphologically distinct basins of Lake Biwa, Japan. *Limnol. Oceanogr.*, v. 43, p. 1023-36.
- ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1976). **Atlas de Zooplâncton do Broa**, São Carlos: Editora UFSCar. ???

ROCHA, O.; SENDACZ, S.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1995). Composition, biomass and productivity of zooplankton in natural lakes and reservoirs of Brazil. In: TUNDISI, J. G., BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences and Brazilian Limnological Society. 376p.

ROSSI, G. & PREMAZZI, G. (1991), Delay in lake recovery caused by internal loading. **Wat. Res.**, v. 25, p. 567-575.

SAKAI, Y.; MURASE, J.; SUGIMOTO, A.; OKUBO, K. & NAKAIAMA, E. (2002). Resuspension of bottom sediment by an internal wave in Lake Biwa. **Lakes and Reservoirs: Research and Management.**, v. 7, p. 339-344.

SALLAS, H. J., & MARTINO, P. (1990). **Metodologias simplificadas para la avaliacion de eutrofication em lagos calidos tropicales**. Program Refioral CEPIS/HPE/IOPS. 52p.

SAMPAIO, E. V.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. (2000). Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. **Braz. J. Biol.** v.62, n.3, p.525-545.

SENDACZ, S. (1984). A study of the zooplankton community of Billings Reservoir, São Paulo. **Hydrobiologia**, v. 113, p.121-127.

SENDACZ, S.; KUBO, E.; CESTAROLLI, M. A. (1985). Limnologia de reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, Brasil. VIII. **Zooplâncton. Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, v. 12, p. 187-207.

SOBALLE, D. M.; THRELKELD, S. T. (1985). Advection, phytoplankton biomass, and nutrient transformation in a rapidly flushed impoundment. **Arch. Hydrobiol.**, v.105, p. 187-203.

SOTO-JIMENEZ, M. F.; PAEZ-OSUNA, F.; BOJORQUEZ-LEYVA, H. (2003). Nutrient cycling at the sediment-water interface and in sediments at Chiricahueto marsh: a subtropical ecosystem associated with agricultural land uses. **Water Research**, v. 37, p. 719-728.

SPERLING, E. V. (1999). **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 137p.

STABEL, H.-H.; KÜCHLER-KRISCHUM, J.; KLEINER J.; MERKEL P. (1986). Removal of strontium by coprecipitation in Lake Constance with calcite. **Naturwiss.**, v. 73, p.551–553.

STATSOFT, INC. (2000). **Statistica for Windows** (Computer program manual). Tulsa.

STRASKRABA M.; TUNDISI J. G. (1999). Reservoir water quality management. In: **Guidelines of Lake Management: Reservoir Water Quality Management**, v.9. Shiga, Japão: International Lake Environment Committee-ILEC. 229p.

STRASKRABA, M. (1990). Shallow lakes and reservoirs. In: PATTEN, B. C. **Wetlands and shallow Continental Water Bodies**, SPB Academic Publishing. ???

STRASKRABA, M. (1998). Limnological differences between deep valley reservoirs and deep lakes. **Internationale Review des Gesamtes Hydrobiologie**, v. 83, p. 1-12.

STRASKRABA, M. (1999). Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI J. G.; STRASKRABA, M. **Theoretical reservoir ecology and its applications**: p. 385-410. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Science and Backhuys Publishers.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (1993). State-of-art of reservoir limnology and water quality management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**. Dordrech: Kluwer Academic Publishers.p.213-288.

STUMM, W., MORGAN J. J. (1996). **Aquatic chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural waters**, 3rd edition. New York: Willey. 1022p.

TAKAHASHI, E. M., LANSAC-TÔHA, F. A., VELHO, L. F. M. & BONECKER, C. C. (2005). Longitudinal distribution of cladocerans (Crustácea) in a Brazilian tropical reservoir. **Acta Limnol. Brasil.**, v.17, n.3, p.257-265.

TALLING, J. F.; LEMOALLE, J. (1998). **Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters**. Cambridge University Press, Cambridge UK. 441p.

TAVARES, L. H. S.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1984). Feeding in adult females of *Argyrodiaptomus furcatus* (Sars, 1901), Copepoda-Calanoida, of Lobo Reservoir (Broa), São Carlos, São Paulo, Brazil, **Hydrobiologia**, v. 113, p. 15-23.

THORNTON, K. W. (1990). Perspectives on Reservoir Limnology. In: THORNTON, K. W; KIMMEL, B. L; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. New York. p. 1-15.

TILMAN, D. (1981). Tests of resource competition theory using four species of Lake Michigan algae. **Ecology**, v. 62, n. 3, p. 802-815.

TILMAN, D.; KIESLING, R.; STERNER, R.; KILHAM, S. S.; JOHNSON, F. A. (1986). Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. **Arch. Hydrobiol.**, v. 106, n. 4, p. 473-485.

TORRES-OROZCO, R. E.; JIMÉNEZ-SIERRA, C.; PÉREZ-ROJAS, A. (1996). Some limnological features of three lakes from Mexican neotropics. **Hydrobiologia**, v. 341, p. 91-99.

TOWNSEND, S. A. (1998). The influence of retention time and wind exposure on stratification and mixing in two tropical Australian reservoirs. **Arch. Hydrobiol.**, v. 141, p. 353-71.

TOWNSEND, S.A.; LUONG-VAN, J.T. & BOLAND, K.T. (1996). Retention time as a primary determinant of colour and light attenuation in two tropical Australian reservoirs. **Freshwater Biology**, v. 36, p. 57-69.

TOWNSEND, S. A. (1999). The seasonal pattern of dissolved oxygen, and hypolimnetic deoxygenation, in two tropical Australian reservoirs. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v. 4, p. 41-53.

TUNDISI, J .G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C.; NOVO, E. M. L. (1991). Comparative limnology of five reservoirs in the Middle Tietê River, S. Paulo State. **Verh. Int. Ver. Limnol.**, v. 24, p. 1489-1496.

TUNDISI, J. G. (1988). Impactos ecológicos da construção de represa: aspectos específicos e problemas de manejo. In: TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas**. Série Monografias em Limnologia, v.1, Tomo 1. 506p.

TUNDISI, J. G. (1993). Theoretical basis for reservoir management. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 25, p.1153-1156.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1990). Limnology and eutrophication of Barra Bonita Reservoir, S. Paulo State, Southern, Brzil. **Arch. Hydrobiol.**, v. 33, p. 661-676.

TYLER, P. A.; BOWLING, L. C. (1990). The wax and wane of meromixis in estuarine lakes in Tasmania. **Verh. int. Ver. Limnol.**, v. 24, p. 117-121.

VALENTIN, J. L. (2000). **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 117p.

VYMAZAL, J. (2001). Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal. In: VYMAZAL, J. (Ed.). **Transformations of nutrients in natural and constructed wetlands**. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. *Biology*, v. 36, p. 57-69.

WATTS, C. J. (2000). Seasonal phosphorus release from exposed, re-inundated littoral sediments of two Australian reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 431, p. 27-39.

WETZEL, R. G. (1983). **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 919p.

WETZEL, R. G. (1983). **Limnology**. 2nd Edition. Philadelphia: Saunders College Publ. 767p.

WETZEL, R. G. (1990). Reservoir ecosystems: Conclusions and speculations. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. New York : J. Wiley & Sons. p. 227-238.

WILLIAMS, W. D.; BUCKNEY, R. T. (1976). Chemical composition of some inland surface waters in South, Western and northern Australia. **Aust. J. Mar. Freshwat. Res.**, v. 27, p. 379-397.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M. E. P.; MENEGON Jr., N.; BERTORELLI, E. (1999). Aperfeiçoamento de um Índice de Qualidade de Águas. **Act. Limn. Brasil.**, v. 11, n. 2., p. 111-126.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.