

Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Instituto de Ciências Biológicas

Universidade Federal de Minas Gerais

**CONDIÇÃO TRÓFICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS LAGOAS DA APA  
CARSTE DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS**

RENATA FELIPE SILVINO

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa

Belo Horizonte, maio de 2012.

## Folha de aprovação

## Ficha Catalográfica

SILVINO, R.F. - Condição trófica e qualidade das águas das lagoas da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. 134p.

Renata Felipe Silvino, Belo Horizonte, UFMG, 2012.

Palavras-chave: Eutrofização, índice trófico, carbono orgânico dissolvido (COD), assembleias fitoplanctônicas, morfometria do lago, uso e ocupação do solo, APA Carste de Lagoa Santa, Parque Estadual do Sumidouro, Brasil.

Ao meu pai Alcides por ter me possibilitado um ponto de partida, valorizando ao máximo a educação, mesmo não tendo a mesma oportunidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa meu agradecimento pela orientação acadêmica e científica e oportunidade de tê-lo como professor e exemplo de profissional. Obrigada por despertar em mim a motivação para a busca deste importante passo em minha vida.

A banca examinadora formada pelos professores Arnola Cecília Rietzler, Cleber Cunha Figueredo, Marta Condé Lamparelli e Reinaldo Luiz Bozelli pelas importantes contribuições à versão final deste trabalho.

Aos professores e colegas Cristiane Barros, Evelize Nunes Fragoso, José Fernandes Bezerra Neto e Maria Margarida Marques pelo apoio e preciosas contribuições nos capítulos desta tese.

À professora Paulina M. Barbosa, pelas sugestões e críticas ao trabalho e delicadeza no trato com os sentimentos e relações humanas, tão escassa e preciosa em nosso dia a dia.

Às professoras Sueli Aparecida Mingoti, pelo auxílio nas análises estatísticas, e Maria Giovana Parizzi pelos ensinamentos sobre o Carste.

À Graça, pela acolhida e carinho nos primeiros anos do laboratório; aos funcionários Frederico e Cristiane pela disponibilidade constante de ajuda; à Dona Nailda, pelo exemplo de vida; ao Marcelo pelo auxílio nas análises laboratoriais, mas fundamentalmente pela atenção e apoio nos momentos mais atribulados.

A todos os colegas antigos e atuais do laboratório de Limnologia, pelo auxílio, amizade e companhia: Viviane, Maione, Raquel, Júnia, Natália, Ianna, Diego Pujoni, Paulinha, Felipe, e aos demais.

O meu agradecimento especial à Débora, Lorena e Taciane, companheiras de mais longa data, pelo apoio constante, partilha e carinho.

Aos meus queridos alunos, especialmente os que me auxiliaram neste trabalho, Bernardo (*Hylander*), Thiago (*MacGyver*), Jôse, Filipe, Rodrigo, Pedro e Nayara.

Aos colegas da Universidade FUMEC, em especial aos professores Sérgio Roman, pelo incentivo, e Marcelo de Ávila Chaves, pela parceria e contribuição em um dos capítulos da tese.

Ao Procópio de Castro, presidente do Subcomitê da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata, pelo auxílio na coleta dos primeiros dados e reconhecimento da área.

À prefeitura de Confins, em especial à Flávia Paione Zehuri dos Santos, secretária municipal do meio ambiente.

Ao Instituto Estadual de Florestas, em especial ao gerente do Parque Estadual do Sumidouro, Rogério Tavares de Oliveira, pelo apoio logístico nas áreas do Parque.

Às comunidades da região do Carste; às crianças curiosas; ao Seu Otto e seus preciosos barcos; às senhoras devotas de Nossa Senhora do Rosário, rezadeiras de chuva; aos guarda-parques e suas histórias, e até mesmo à Luzia, que escolheu o Carste como morada há 11.500 anos, o meu muito obrigado.

Às pessoas mais importantes da minha vida, família e amigos. Em especial aos meus pais, Alcides e Maria, e, é claro à minha irmã Flávia, companheira de todas as horas. Aos meus 'anjos da guarda', Patrícia, Irmã Amália e Maria Tereza.

"Democracia é oportunizar a todos o mesmo ponto de partida. Quanto ao ponto de chegada, depende de cada um."

Fernando Sabino

## *RESUMO*

Esta pesquisa teve como objetivo contribuir com subsídios para uma política de gestão e de ações ambientais em prol dos ecossistemas lacustres da APA Carste de Lagoa Santa, visando à preservação do manancial e saúde pública, através da avaliação do potencial de ferramentas (índices tróficos, COD, assembleias fitoplanctônicas, características morfométricas do lago e uso e ocupação da bacia hidrográfica) na indicação do estado trófico e de qualidade ambiental destes ecossistemas. Parâmetros limnológicos básicos foram mensurados em 4 lagoas (Confins, Olhos d'água, Sumidouro e Mares) durante a chuva e a seca dos anos de 2009 e 2010. Levantamentos dos usos e ocupação do solo e dados morfométricos foram obtidos especificamente para a lagoa Sumidouro. O nível trófico das lagoas variou de oligo a hipereutrófico pelos diferentes índices utilizados, sendo a Lagoa de Confins a que apresentou os maiores graus de trofia. A concentração de COD foi maior em Sumidouro e Confins e apresentou, através de análise de regressão, uma relação logarítmica com dois dos índices tróficos avaliados. Os grupos funcionais fitoplanctônicos associados a ambientes eutróficos, J, P, X1 e TC correlacionam-se positivamente com N-total, P-total, PO<sub>4</sub>-P e IET, assim como a maior parte das amostras da lagoa Confins. O COD e as assembleias fitoplanctônicas demonstraram ser ferramentas eficientes na avaliação de estado trófico, no entanto, possuem limitações como quaisquer métodos de avaliação ambiental, como observado na utilização dos índices tróficos. A morfologia, uso e ocupação do solo da bacia e estimativa da carga total afluente de fósforo demonstraram ser potenciais ferramentas preditivas na análise ambiental de ambientes vulneráveis a eventos de eutrofização.



## *ABSTRACT*

This research aimed to provide a set of suggestions of environmental actions and management with subsidies for the preservation of water resources and public health, in favor of the natural lakes system of the Carstic of Lagoa Santa Environmental Protected Area, using ecological metrics such as trophic indices, dissolved organic carbon content-DOC, phytoplankton assemblages, morphometric characteristics of the lakes and major uses soil occupation of the basin, in order to indicate the trophic state and environmental quality of these ecosystems. Basic limnological parameters were measured in four lakes (Confins, Olhos d'Água, Sumidouro and Mares) during dry and rainy periods of 2009 and 2010. Surveys of land use and occupation and morphometric data were obtained specifically for Lake Sumidouro. The lakes trophic level ranged from oligotrophic to hypereutrophic according to the distinct trophic indices used which indicated Lake Confins as a hypereutrophic lake. The DOC concentration was higher in lakes Sumidouro and Confins. Moreover, it offered (through regression analysis) a logarithmic relationship with two of the evaluated trophic indices. The phytoplankton functional groups J, P, X1 e TC, which were associated with eutrophic environments, correlated positively with total-N, total-P, PO<sub>4</sub>-P and TSI, as well as most of the samples from lake Confins. DOC and phytoplankton assemblages proved to be valuable tools in evaluating trophic status, despite exhibiting limitations as any environmental evaluation methods, as demonstrated by the use of trophic indices in general. Morphology, land use and occupation of the basin and estimation of total phosphorus load indicted to be potential predictive tools to be used in environmental analyses of environments vulnerable to eutrophication events.

## *LISTA DE TABELAS, FIGURAS, APÊNDICES E ANEXOS*

### *LISTA DE TABELAS*

### *Páginas*

#### *Referentes à Área de Estudo*

Tabela 1. Localização geográfica e área da bacia das lagoas selecionadas. 29

#### *Referentes ao Capítulo 1*

Tabela 1. Localização geográfica e área da bacia das lagoas selecionadas. 37

Tabela 2. Medidas descritivas de fósforo solúvel reativo (PO<sub>4</sub>-P), fósforo total (P total), clorofila *a*, transparência da água (disco de Secchi), COD e nitrogênio total (N total) das lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010. 39

Tabela 3. Comparações múltiplas dos índices propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) e Salas e Martino (1991) entre as lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) – Teste de Tukey. 41

Tabela 4. Classificação de estado trófico segundo os sistemas propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991), Carlson, modificado por Lamparelli (2004) e relação C:N nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS). Média de todas as amostragens, seca e chuva de 2009 e 2010. 41

#### *Referentes ao Capítulo 2*

Tabela 1. Medidas descritivas de transparência da água (disco de Secchi), nutrientes e clorofila *a* entre as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010. E.P (Erro Padrão): desvio padrão da média; N: número de amostras realizadas em cada lagoa (2 estações, 2 anos, 2 pontos de coleta). 65

Tabela 2. Teste de comparações múltiplas de transparência da água (disco de Secchi), nutrientes, clorofila *a* e índice de estado trófico proposto por Salas e Martino (1991) entre as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010. 66

Tabela 3. Classificação de estado trófico segundo o sistema proposto por Salas e Martino (1991) para as lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS). (Região limnética/médias dos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010). 66

Tabela 4. Espécies fitoplanctônicas descritoras (>5% da biomassa total), contribuição destas nos seus respectivos grupos funcionais, classes taxonômicas, grupos funcionais (GF) e indicação do estado trófico em que ocorrem segundo Reynolds et al. (2002) e Padišák et al. (2009) para as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de 2009 e 2010. 67

### ***Referentes ao Capítulo 3***

Tabela 1. Sumário das análises descritivas dos parâmetros limnológicos e morfométricos da lagoa Sumidouro nos anos de 2009 e 2010. 79

Tabela 2. Classificação de estado trófico segundo os sistemas propostos por Carlson (1977), OECD (1982), Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) para a lagoa Sumidouro (médias dos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010). 81

Tabela 3. Média dos parâmetros limnológicos e morfométricos no período de chuva e seca da lagoa Sumidouro nos anos de 2009 e 2010. 83

Tabela 4. Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas e morfológicas utilizando o teste de Spearman. As correlações significativas são mostradas em negrito. 85

**Referentes à Área de Estudo**

- Figura 1. Localização e hidrografia do Carste de lagoa Santa. 25
- Figura 2. Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil). 29

**Referentes ao Capítulo 1**

- Figura 1. Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil). 37
- Figura 2. Representação gráfica (*box-plot*) da distribuição de COD e índices de estado trófico propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) no período de 2009 e 2010. 40
- Figura 3. Análise de regressão de COD e índices tróficos de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Lamparelli (2004). Os dados foram das 4 lagoas analisadas (Mares, Confins, Sumidouro e Olhos d'Água). 43
- Figura 4. Análise de regressão de COD e profundidade de disco de Secchi e Clorofila *a*. Os dados foram das 4 lagoas analisadas (Mares, Confins, Sumidouro e Olhos d'Água). 44

**Referentes ao Capítulo 2**

- Figura 1. Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil). 61
- Figura 2. Variação mensal da temperatura média do ar e da precipitação média (linha) nos meses de janeiro a dezembro. Dados médios obtidos da estação climatológica do município de Confins (Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Confins – DTCEA – CF), nos anos de 2009 e 2010. 62

Figura 3. Contribuição dos principais grupos funcionais fitoplanctônicos das lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) no período de 2009 e 2010. 63

Figura 4. Análise de Correspondência Canônica (CCA) – diagrama de ordenação das variáveis biológicas e ambientais, a partir dos dados de densidade dos grupos funcionais fitoplanctônicos, variáveis limnológicas (transparência da água aferida pelo disco de Secchi, clorofila *a*, P-total, PO<sub>4</sub>-P e N-total) e índice de estado trófico (IET) nas lagoas dos Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO). 64

### ***Referentes ao Capítulo 3***

Figura 1. Localização da lagoa Sumidouro (Minas Gerais, Brasil). Em destaque os limites da bacia hidrográfica e do Parque Estadual do Sumidouro. 75

Figura 2. Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) das unidades de amostragens em função das variáveis limnológicas (a) e morfológicas (b) na lagoa, nos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010. 86

## ***LISTA DE APÊNDICES***

## ***Páginas***

### ***Referentes ao Capítulo 1***

Fórmulas dos índices de estado trófico utilizadas e limites determinados para as categorias tróficas. 99

Tabela 1. Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo Carlson, modificado por Toledo (1983) e Salas e Martino (2001). 100

Tabela 2. Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo Carlson, modificado por Lamparelli (2004). 101

Tabela 3. Medidas descritivas e teste de normalidade para as variáveis, COD, Ln (COD) e índices. 101

Tabela 4. Medidas descritivas do COD (mg/L) entre as lagoas, ano e estação 102

Tabela 5. Análise de Variância para o ln (COD) 102

Tabela 6. Comparações múltiplas do ln (COD) entre as lagoas – Teste de Tukey	102
Tabela 7. Medidas descritivas do IET Toledo entre as lagoas, ano e estação	103
Tabela 8. Análise de Variância para o IET Toledo	103
Tabela 9. Comparações múltiplas do IET Toledo entre as lagoas – Teste de Tukey	103
Tabela 10. Medidas descritivas do IET Salas e Martino entre as lagoas, ano e estação	104
Tabela 11. Análise de Variância para IET Salas e Martino	104
Tabela 12. Comparações múltiplas do IET Salas e Martino entre as lagoas – Teste de Tukey	104
Tabela 13. Medidas descritivas do IET Lamparelli entre as lagoas, ano e estação	105
Tabela 14. Análise de Variância para o IET Lamparelli	105

### ***Referentes ao Capítulo 2***

Tabela 1. Valores de soma, médios, erro padrão, mínimos e máximos da biomassa fitoplanctônica (mg.L <sup>-1</sup> ) por grupo funcional, lagoa e estação. N=número de ocorrências das espécies descritoras nas amostras.	106
Tabela 2. Lista de táxons fitoplanctônicos encontrados em cada classe taxonômica nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS).	107

### ***Referentes ao Capítulo 3***

Figura 1. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica de contribuição superficial da lagoa Sumidouro.	118
Figura 2. Mapas batimétricos da lagoa Sumidouro nos períodos de seca e chuva de 2009 e 2010.	119
Tabela 1. Parâmetros morfométricos e respectivos métodos utilizados.	120

Tabela 2: Matriz de correlação entre variáveis limnológicas e morfológicas utilizando o teste de Spearman. As correlações significativas ( $>0,70$  ao nível de 5% de significância) são mostradas em negrito.  $n=8$ . 121

Tabela 3. Matriz com o p-valor da correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas e morfológicas. As correlações significativas são mostradas em negrito.

122

Memorial de cálculo – Estimativa de concentração de P. 123

### *LISTA DE ANEXOS*

### *Páginas*

Normas de submissão da revista 'Brazilian Archives of Biology and Technology' 125

Normas de submissão da revista 'Hydrobiologia' 127

Normas de submissão da revista 'Brazilian Journal of Biology' 131

## SUMÁRIO

<i>INTRODUÇÃO GERAL</i>	17
<i>HIPÓTESES E OBJETIVOS</i>	22
<i>ESTRUTURA DA TESE</i>	24
<i>ÁREA DE ESTUDO</i>	25
Localização, caracterização e <i>status</i> de conservação da região do Carste de Lagoa Santa	25
Histórico de trabalhos limnológicos na região do Carste de Lagoa Santa	27
Objetos de estudo - Lagoas cársticas	28
<i>CAPÍTULO 1: Carbono orgânico Dissolvido como indicador de estado trófico em quatro lagoas rasas tropicais, Minas Gerais, Brasil</i>	32
<i>CAPÍTULO 2: Assembleias fitoplanctônicas como ferramenta de análise de estado trófico em lagoas tropicais</i>	48
<i>CAPÍTULO 3: Potencial de eutrofização de lagos: uma análise combinada do estado trófico, morfologia, uso e ocupação do solo</i>	69
<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	97
<i>APÊNDICES</i>	99
<i>ANEXOS</i>	125



## INTRODUÇÃO GERAL

Apesar dos avanços do século 20 no entendimento da eutrofização, este impacto continua sendo um dos problemas mais sérios na proteção dos ecossistemas de água doce e marinhos costeiros (Schindler, 2006). Por consequência, houve por parte da comunidade científica uma preocupação em identificar o estado trófico, ou seja, o estágio de eutrofização em que se encontra um corpo d'água.

O grande esforço de ecólogos para estimar estado trófico tem sido associado à pesquisa no controle da eutrofização cultural de lagos e tem focado mais a produção primária (Dodds & Cole, 2007). A classificação do estado trófico tem formado a base dos programas de manejo em lagos e reservatórios e utiliza variáveis que estão direta ou indiretamente relacionadas a um potencial recurso-chave, o material autóctone. Estas variáveis são, basicamente, concentração de clorofila *a*, concentração de nutrientes e profundidade do disco Secchi.

O estado trófico é bem caracterizado em lagos (Dodds & Cole, 2007) e desde os anos 60 critérios indicadores de eutrofização têm sido criados por limnólogos ao estudar principalmente ambientes temperados (Tundisi e Tundisi, 2008). Vollenweider (1968) e outros enfatizaram a importância de nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo, para determinar o estado trófico de lagos.

O programa da Organização para Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD) estabeleceu limites para a classificação trófica de ambientes temperados baseados na concentração de clorofila *a*, concentração de fósforo total e profundidade do disco de Secchi (OECD, 1982).

Carlson (1977) considerou o processo de eutrofização um fenômeno multidimensional, que não pode ser avaliado pelo exame de apenas um parâmetro e desta forma definiu um índice de estado trófico, usando uma transformação linear da transparência pelo disco de Secchi, que avalia a concentração de biomassa. Além da transparência, o índice pode ser expresso em função das concentrações de fósforo e clorofila *a* para a avaliação da situação trófica do ambiente, porém não delimita os estados tróficos. Posteriormente, Kratzer e Brezonick (1981) estabeleceram limites para os estados tróficos, a partir do sistema proposto por Carlson (1977).

O grau de trofia, por meio de índices que consideram as particularidades dos ambientes tropicais, tem sido obtido através do Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), e o proposto por Salas e Martino (1991), já que o clima predominantemente tropical pode alterar significativamente as respostas dos organismos aquáticos aos fatores que influem em suas atividades vitais. O índice mais recente dirigido para ambientes tropicais foi proposto por Lamparelli (2004).

A definição de um índice que transpareça de maneira confiável o estado trófico de um ambiente constitui um desafio, pois a utilização de diferentes parâmetros (fósforo total, clorofila *a*, transparência da água) pode produzir uma classificação de trofia errônea, já que a degradação ambiental pode afetar ou não transparecer em todas as condições ambientais. Mercante e Tucci-Moura (1999) comparando os índices de Carlson e Carlson modificado por Toledo et al. (1983) concluíram que a aplicação de tais índices deve ser feita com cautela, somente como um indicador potencial do estado trófico. Segundo estes autores, devem ser considerados aspectos como dinâmica temporal e espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas do sistema aquático e aspectos regionais particulares de cada bacia hidrográfica.

A procura de novos índices e indicadores, que possam fornecer respostas mais precisas que a caracterização tradicional (fósforo-clorofila) é bastante comum. De acordo com Williamson et al. (1999), a relação nutrientes-productividade, amplamente utilizada, e o estado trófico são importantes ferramentas conceituais; no entanto, o carbono orgânico dissolvido (COD) deve ser incorporado a este paradigma, para um maior entendimento dos lagos. O COD é uma das principais frações da matéria orgânica, que se constitui em fonte de energia nos ambientes aquáticos, podendo, também influenciar nos mais diversos processos biogeoquímicos que neles se desenvolvem (Kruger et al., 2003). Sugiyama et al. (2004) constataram que o COD possui altas concentrações em lagos eutróficos, quando comparado com ambientes meso e oligotróficos e uma relação negativa com a transparência da coluna d'água estimada por meio da profundidade do disco de Secchi.

A associação dos índices de estado trófico à composição de espécies fitoplanctônicas também é utilizada (Reynolds et al., 2002). Segundo Barbosa et al. (1997), entre as comunidades aquáticas, a constituída pelo fitoplâncton é de grande importância na avaliação da integridade biótica de ecossistemas aquáticos, principalmente por reunir

grupos em sua maioria cosmopolitas e com amplo espectro de adaptações, existindo em praticamente todos os tipos de água, até mesmo em ambientes extremos, como fontes termais e crateras de vulcões extintos. O uso das assembleias fitoplanctônicas, grupos de espécies com morfologia, ecologia e fisiologia similares (Reynolds et al., 2002), é recomendado como uma ferramenta de indicação ambiental de significativa importância na avaliação da integridade biótica de ecossistemas aquáticos.

Por fim, temos os aspectos morfológicos do lago e de uso e ocupação do solo, os quais possibilitam uma análise mais ampla do estado ambiental, pois fornecem dados necessários para a obtenção da capacidade de suporte dos ecossistemas aquáticos e caracterização da resiliência dos mesmos. A morfologia do lago é indicada como significativamente relacionada com a concentração de nutrientes ou estado trófico (Armengol e Miracle, 1999; Hamilton et al., 2001; Taranu e Gregory-Eaves, 2008; Liu et al., 2010), enquanto o uso do solo e cobertura vegetal é indicado como fator influente no aporte de nutrientes para os corpos d'água (Arbuckle e Downing, 2001; Knoll et al., 2003; Sand-Jensen e Staehr, 2007; Taranu e Gregory-Eaves, 2008).

O presente trabalho visa contribuir com subsídios para uma política de gestão e de ações ambientais em prol dos ecossistemas lacustres da APA Carste de Lagoa Santa, visando à preservação do manancial e saúde pública, por meio da avaliação do potencial de ferramentas (índices tróficos, COD, assembleias fitoplanctônicas, características morfométricas do lago e uso e ocupação da bacia hidrográfica) na indicação do estado trófico e de qualidade ambiental destes ecossistemas.

## Referências

- ARBUCKLE, KE. and DOWNING, JA., 2001. The influence of watershed land use on lake N:P in a predominantly agricultural landscape. *Limnology and Oceanography*, vol. 46, no.4, p. 970-975.
- ARMENGOL, X. and MIRACLE, MR., 1999. Zooplankton communities in doline lakes and pools, in relation to some bathymetric parameters and physical and chemical variables. *Journal of Plankton Research*, vol.21, no.12, p. 2245-2261.
- BARBOSA, FAR., SOUZA, EMM., VIEIRA, F., RENAULT, GPCP. , ROCHA, LA., MAIA-BARBOSA, PM., OBERDÁ, SM. and MINGOTI, SA, 1997. Impactos Antrópicos e Biodiversidade Aquática. In: DE PAULA, JA. (Org.). Biodiversidade, população e economia: uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: RONA Editora, vol. 1, p.345-454.

- CARLSON, RE., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, vol.22, no.2, p. 361-369.
- DODDS, WK., COLE, JJ., 2007. Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs. *Aquatic Sciences*, vol.69, p. 427-439.
- HAMILTON, PB., GAJEWSSKI, K., ATKINSON, D.E. and LEAN, DRS., 2001. Physical and chemical limnology of 204 lakes from the Canadian Arctic Archipelago. *Hydrobiologia*, vol. 457, p. 133-148.
- KNOLL, LB., VANNI, MJ. and RENWICK, WH., 2003. Phytoplankton primary production and photosynthetic parameters in reservoirs along a gradient of watershed land use. *Limnology Oceanography*, vol.48, no. 2, p. 608-617.
- KRATZER, CR. and BREZONICK, PLA., 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources Bulletin*, vol.17, p. 713-714.
- KRUGER, GCT., CARVALHO, CEV., FERREIRA, AG., GONÇALVES, GM., TRUCCOLO, EC., SCHETTINI, CAF., 2003. Dinâmica de carbono orgânico dissolvido no estuário do Rio Paraíba do Sul, R.J., sob diferentes condições de maré e descarga fluvial. *Atlântica*, vol. 25, no.1, p. 27-33.
- LAMPARELLI, MC., 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: Universidade de São Paulo. 235p. Tese de doutorado em Ciências.
- LIU, W., ZHANG, Q. and LIU, G., 2010. Lake eutrophication associated with geographic location, lake morphology and climate in China. *Hydrobiologia*, vol. 644, p. 289-299.
- MERCANTE, CTJ., TUCCI-MOURA, A., 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP., São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 11, p.1-14.
- Organization for Economic Co-Operation and Development – OECD. Eutrofication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris: OECD; 1982.
- REYNOLDS, CS., HUSZAR, V., KRUK, C. NASELLI-FLORES, L. and MELO, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, vol.24, no.5, p. 417-428.
- SALAS, HJ., MARTINO, P., 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, vol. 25, p.341-350.
- SAND-JENSEN, K. and STAEHR, PA., 2007. Scaling of pelagic metabolism to size, trophy and forest cover in small Danish lakes. *Ecosystems*, vol.10, p.127-141.
- SCHINDLER, D.W., 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography*, vol. 51, p.356-363.
- SUGIYAMA, Y., ANEGAWA, A., KUMAGAI, T., HARITA, YH., HORI, T., SUGIYAMA, M., 2004. Distribution of dissolved organic carbon in lakes of different trophic types. *Limnology*, vol.5, p. 165-176.

- TARANU, ZE. and GREGORY-EAVES, I., 2008. Quantifying relationships among phosphorous, agriculture, and lake depth at an inter-regional scale. *Ecosystems*, vol.11, p.715-725.
- TOLEDO, AP., TALARICO, M., CHINEZ, SJ., AGUDO, EG., 1983. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização de lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1983. Camburiú, Brazil: UFSC. p.1-34.
- TUNDISI, JG. & TUNDISI, TM., 2008. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 632p.
- VOLLENWEIDER, RA., 1968. Water management research. Scientific Fundamentals of eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication. Paris: OECD, 192 p.
- WILLIAMSON, CE., MORRIS, DP., PACE, ML., OLSON, OG., 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography*, vol.44, no.3, p.795-803.

## *HIPÓTESES E OBJETIVOS*

### Hipóteses

Considerando o exposto, essa proposta pretende testar as seguintes hipóteses:

I - As lagoas avaliadas da APA Carste de Lagoa Santa variam quanto ao estado trófico e condição ambiental.

Predição i – A qualidade da água é deteriorada em todas as lagoas, mas estas apresentam diferentes classificações tróficas.

II - Os índices de estado trófico desenvolvidos para ambientes tropicais não são adequados para uma avaliação robusta da qualidade ambiental.

Predição i - Os índices desenvolvidos para ambientes tropicais apresentam discordância nas classificações, impedindo uma definição objetiva e confiável do estado trófico dos ambientes.

III - Uma avaliação de estado trófico eficaz deve contemplar não apenas parâmetros correlacionados com a produtividade primária, mas as concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido e as comunidades fitoplanctônicas.

Predição i – A avaliação das concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido e sua correlação com índices de trofia fortalece a avaliação da qualidade ambiental e permite separar ambientes com distintos estados de trofia.

Predição ii - A utilização de assembleias fitoplanctônicas permite separar ambientes quanto ao estado trófico.

IV – A avaliação da relação de parâmetros morfométricos e limnológicos, dos usos e ocupação do solo na bacia e cálculo do potencial de eutrofização são representativos e preditivos na análise do estado trófico.

Predição i – Os parâmetros morfométricos, os usos e ocupação do solo na bacia e cálculo do potencial de eutrofização indicam a vulnerabilidade ambiental e colaboram para o desenvolvimento de ações de gestão.

## Objetivos

Para testar tais hipóteses, o presente trabalho tem como objetivos:

1. Avaliar as características limnológicas de quatro lagoas da APA Carste de Lagoa Santa nos períodos de seca e chuva de dois anos subsequentes;
2. Avaliar diferentes índices tróficos;
3. Investigar a relação do estado trófico com o Carbono Orgânico Dissolvido e assembleias fitoplanctônicas, a fim de verificar a aplicabilidade do potencial de uso destas ferramentas na indicação ambiental;
4. Avaliar a importância tanto das características morfológicas da lagoa, quanto do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica na análise de potencial de trofia;
5. Contribuir com subsídios para uma política de gestão e de ações ambientais em prol dos ecossistemas lacustres da APA Carste de Lagoa Santa, visando à preservação do manancial e saúde pública.

## *ESTRUTURA DA TESE*

A tese foi estruturada em quatro itens. O primeiro item ‘Área de estudo’ apresenta a Região do Carste de Lagoa Santa, por meio de sua caracterização, *status* de conservação e uma revisão dos estudos limnológicos conduzidos nesta. Os objetos de estudo, quatro lagoas da Região do Carste, são assim contextualizados.

Os itens, capítulos 1, 2 e 3, são apresentados na forma de artigos, que seguem as normas de revistas científicas específicas, para as quais serão submetidos posteriormente. As normas para a publicação nestas revistas estão no final do trabalho como anexos.

A tese é finalizada com o item ‘Considerações Finais’ contendo uma síntese dos resultados obtidos com os trabalhos desenvolvidos e recomendações.



## ÁREA DE ESTUDO

### Localização, caracterização e status de conservação da região do Carste de Lagoa Santa

O Carste de Lagoa Santa localizado na região centro-sul do estado de Minas Gerais/ Brasil está em grande parte situado no interflúvio do Rio das Velhas (leste) e ribeirão da Mata (oeste-sudoeste) e tem como principais sub-bacias hidrográficas os córregos Samambaia, Palmeiras-Mocambo, Jaguará e riacho do Gordura, para onde são drenadas as águas pluviais captadas, em grande parte, pelos inúmeros dolinamentos distribuídos ao longo da área (Berbert-Born, 2000) (Fig.1).

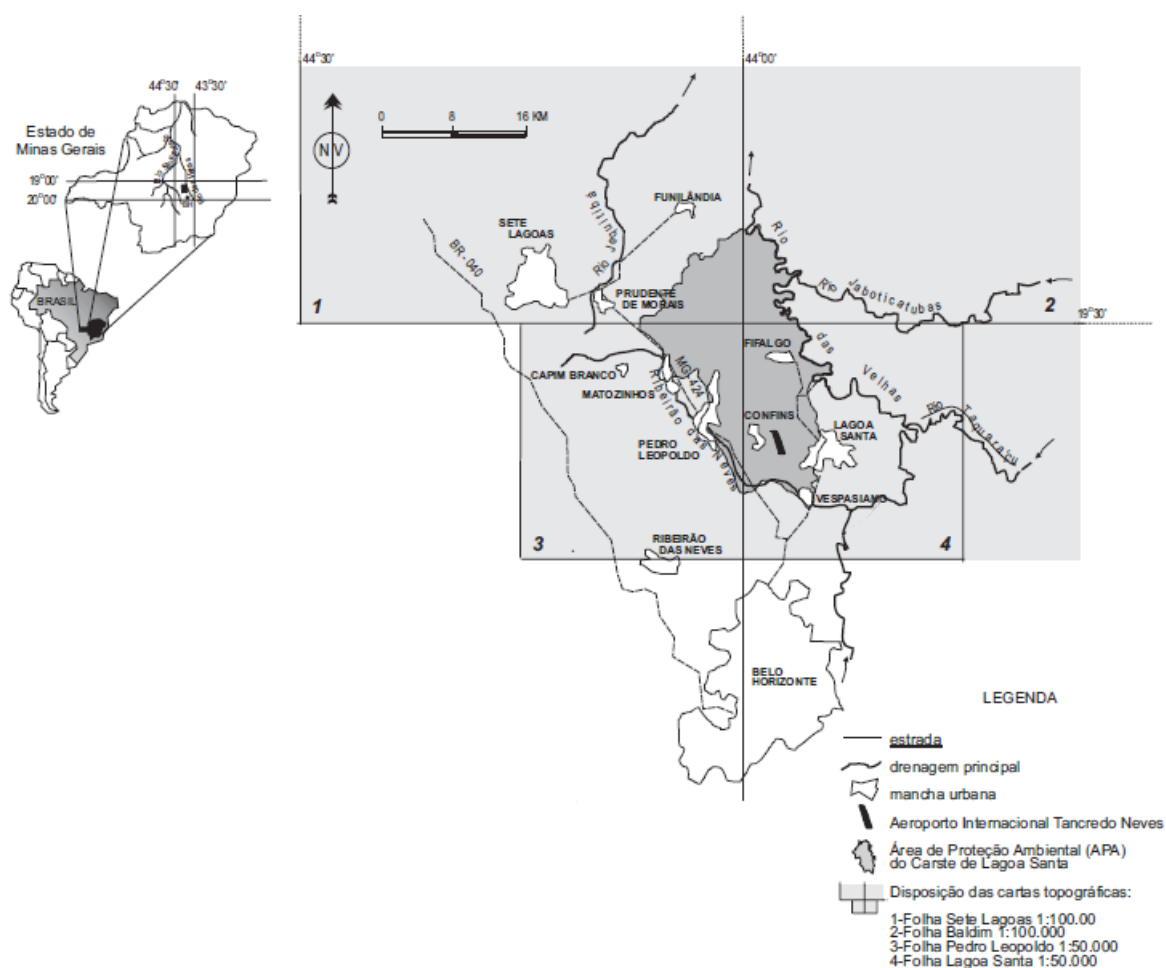


Figura 1: Localização e hidrografia do Carste de Lagoa Santa.

Fonte: Adaptado de Berbert-Born (2000)

O Carste de Lagoa Santa é uma das regiões brasileiras mais importantes da história das ciências naturais do país, reconhecida internacionalmente, principalmente no que tange aos âmbitos arqueológico, botânico e paleontológico. Muito deste reconhecimento se deve ao naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund, que desembarcou no Brasil em 1825 e foi precursor dos estudos pré-históricos brasileiros, na medida em que descobriu ossadas humanas em Lagoa Santa e apontou para a contemporaneidade do homem com os animais extintos (Lund, 1999).

A precipitação anual da região não ultrapassa 1.300mm, concentrando-se nos meses de outubro a abril. De acordo com os dados hidrológicos os parâmetros médios da região são: temperatura média anual de 22,8°C; umidade relativa média anual de 67,8% e; velocidade média anual do vento de 1,5m/s (Patrus, 1998).

Segundo Herrmann et al. (1998), esta área encontra-se inserida nos domínios dos cerrados que ocorrem nos chapadões centrais brasileiros, apresentando uma flora composta de cerradões, cerrados campestres, campos gerais, floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual. Esta última tipologia vegetacional ocorre principalmente sobre as partes altas dos afloramentos calcários e em locais onde há algum acúmulo de solo e é caracterizada pela presença de indivíduos que perdem totalmente as folhas na época de seca.

A Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa - APA LS criada pelo Governo Federal, pelo Decreto 98.881 de 25 de janeiro de 1990, que possui 35.600 hectares abrange parte dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos e Funilândia.

As inúmeras lagoas do Carste de Lagoa Santa que ocorrem principalmente nas planícies cársticas dos distritos de Mocamboiro (Matozinhos) e Fidalgo (Pedro Leopoldo), mesmo estando em grande parte incluídas em uma APA, sofrem com uma expressiva ocupação antrópica que implica em risco à sua integridade.

Os lagos formados por dissolução calcárea apresentam um quadro complexo em termos de recuperação ambiental, já que em função dos riscos de contaminação de sua drenagem subterrânea, poluentes podem infiltrar e atingir o lençol freático, o qual exportará estes pelo sistema de drenagem da bacia, potencializando assim sua dispersão. Acrescenta-se, ainda, o fato de que a área atingida pode ser bastante expressiva, já que

os divisores de água em subsuperfície não coincidem necessariamente com os divisores em superfície (Simões et al., 2005).

Desta forma, as lagoas da APA LS e demais áreas do Carste de Lagoa Santa, por estarem situadas em regiões densamente ocupadas e sujeitas a transformações nos padrões de uso e ocupação do solo, estão ameaçadas pela degradação ambiental. Atualmente o quadro é mais preocupante devido a uma crescente expansão do vetor norte da região metropolitana de Belo Horizonte impulsionada pela Linha Verde, que constitui em um conjunto de obras rodoviárias executadas na rodovia MG-010 e pela implantação do novo Centro Administrativo do Estado de Minas Gerais.

Dentre os problemas estruturais da região, destaca-se o saneamento, especialmente ao que se refere ao esgotamento sanitário. Segundo a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) e CONCREMAT (empresa de consultoria ambiental) (2009) o sistema público de coleta de esgotos é insuficiente e é muito comum a utilização de fossas rudimentares na região, fontes potenciais de contaminação ambiental.

#### Histórico de trabalhos limnológicos na região do Carste de Lagoa Santa

Estudos da região do Carste de Lagoa Santa sob os âmbitos arqueológico, botânico, paleontológico e geológico/geomorfológico são os mais antigos e freqüentes. Estudos limnológicos começaram a ser desenvolvidos a partir da década de 80, através de uma caracterização limnológica preliminar (Barbosa et al., 1984) de caráter ineditista na lagoa Santa, também denominada Central, localizada no município de Lagoa Santa. Posteriormente, teores de matéria orgânica, nitrogênio orgânico total, fósforo total e algumas formas iônicas foram analisados no sedimento das lagoas Olhos d'água, Santa e Sumidouro por Coutinho e Barbosa (1986). Este último trabalho já abordava a problemática dos impactos resultantes das atividades humanas e evidenciava a necessidade do disciplinamento dos usos das águas das lagoas do Carste e das atividades em suas bacias de drenagem.

A década de 90 caracteriza-se pelo maior número de estudos limnológicos desenvolvidos. Barbosa et al. (1993) discutiram o decréscimo da diversidade de espécies na comunidade fitoplanctônica; comparando estudos realizados em 1977, 1982, e 1983 e 1988 em lagoa Santa. A composição de macrófitas aquáticas da lagoa dos

Mares foi estudada por Reis e Barbosa (1993). Rosa et al. (1995) descreveram a diversidade de bactérias nos anos de 1986 e 1987 na lagoa Santa. Maia-Barbosa et al. (1996) descreveram a composição da comunidade zooplanctônica em 5 lagoas cársticas: Santa, Olhos d'Água, Mares, Sumidouro e Confins; enquanto, Santos et al. (1998) levantaram a diversidade e abundância da fauna bentônica nas mesmas lagoas.

Em 1998 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA, em parceria com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, publicou o documento ‘Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa – MG’. Quanto aos ecossistemas aquáticos, destacam-se, neste trabalho, as características hidrográficas e ambientais e a qualidade das águas de superfície da região. As lagoas do Sumidouro e São José, mais comumente conhecida como Central ou Confins, foram amostradas em cinco campanhas no período de 1991-95, através de parâmetros que expressam as características físico e químicas da água, as condições geológicas locais e os lançamentos de esgotos e efluentes (Patrus, 1998).

Cambraia (1999) analisou as variações na composição em espécies e densidade de algas planctônicas da lagoa Olhos d'água após enriquecimento com diferentes concentrações de nitrogênio e fósforo. Também em Olhos d'água, porém com dados obtidos no período de 1987 a 1988, Landa e Torres (2004) analisaram a distribuição vertical do zooplâncton e avaliaram parâmetros físico e químicos da lagoa.

A maior parte dos estudos limnológicos e também os mais recentes foi realizada na lagoa Santa. Figueredo (2007) apontou, especificamente em lagoa Santa, uma degradação acentuada nas últimas décadas e a dominância de cianobactérias, enquanto Brighenti (2009) caracterizou este mesmo ambiente quanto à morfometria e aspectos limnológicos.

#### Objetos de estudo - Lagoas cársticas

As lagoas cársticas, também denominadas lagos de dolinas, constituem depressões nos solos desenvolvidas pela dissolução química de rochas presentes abaixo da superfície. Há a ocorrência de muitas lagoas na região do carste, particularmente nas planícies cársticas de Mocambeiro e Fidalgo. Em sua maioria apresentam características temporárias, com ciclos anuais ou pluri-anuais, dependentes do regime pluviométrico associado ao nível freático e aos sistemas de fluxo do aquífero cárstico (Patrus, 1998).

Foram selecionadas para o presente estudo quatro lagoas da APA LS, duas no município de Confins, Lagoa Confins e Lagoa dos Mares; uma em Lagoa Santa, Lagoa Olhos d'água; e a Lagoa do Sumidouro, situada nos municípios de Pedro Leopoldo e Lagoa Santa (Fig.2 e Tab.1).

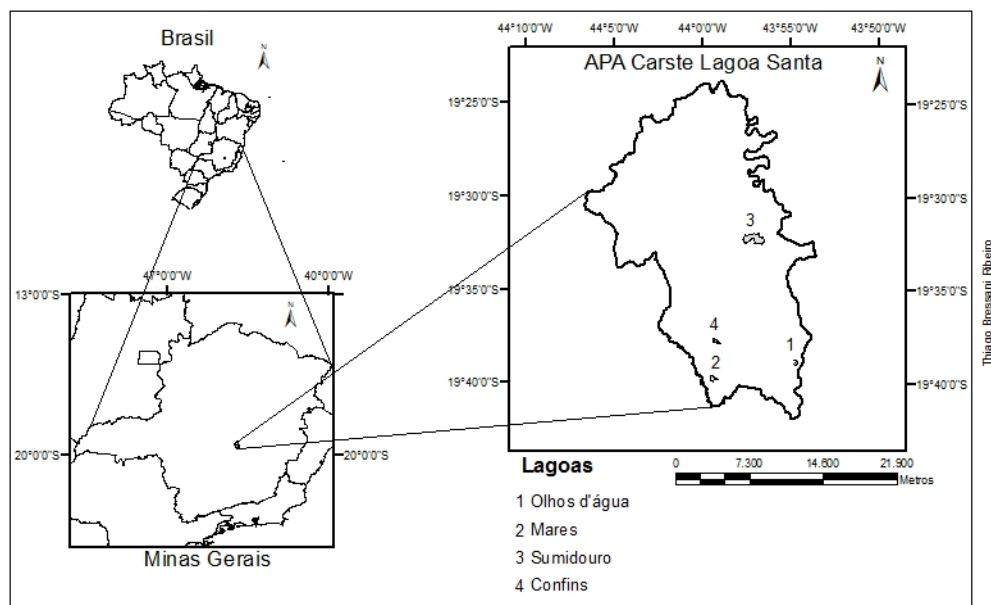


Figura 2: Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil).

Tabela 1: Localização geográfica e área da bacia das lagoas selecionadas.

Lagoas	Municípios	Coordenadas	Área da bacia*
Confins (LC)	Confins	19°37'45"S; 43°59'11"W	4,98 Km <sup>2</sup>
Olhos d'água (LO)	Lagoa Santa	19°38'54"S; 43°54'34"W	1,63 Km <sup>2</sup>
Mares (LM)	Confins	19°39'44"S; 43°59'25"W	1,74 Km <sup>2</sup>
Sumidouro (LS)	Lagoa Santa e Pedro Leopoldo	19°32'10"S; 43°57'00"W	32,44 Km <sup>2</sup>

\*Área de contribuição superficial obtida a partir dos parâmetros: curvas de nível, pontos cotados e drenagem superficial. Não foi considerado o fluxo subterrâneo comprovado e/ou inferido.

Dentre as lagoas estudadas destaca-se a do Sumidouro, maior corpo lacustre em área da região Carste de Lagoa Santa, localizada na porção nordeste da APA (Fig.2). Suas águas são, em grande parte, provenientes do córrego Samambaia, que, embora presente

baixas vazões, inclusive nos períodos de cheias, é responsável pelas maiores contribuições à lagoa do Sumidouro (Patrus 1998).

A lagoa dos Mares, localizada ao sul da APA é uma das poucas lagoas perenes da região e suas águas drenam subsuperficialmente para uma ressurgência próxima ao ribeirão da Mata. As demais lagoas estudadas, Confins e Olhos d'Água, estão também localizadas ao sul da APA (Patrus 1998) (Fig.2).

## Referências

- BARBOSA, FAR., RYLANDS, AB., OLIVEIRA, SJ., 1993. Drastic decrease in algal diversity caused by human impact on an urban lake in south-east Brazil. *Verhandlung Internationale Vereinigung für Limnologie*, vol.25, p.939-941.
- BARBOSA, FAR., COUTINHO, ME., ARAÚJO, LM., MENENDEZ, RM., BARBOSA, PMM., FIGUEIRA, JEC., ESTEVES, FA., 1984. Estudos limnológicos na região cárstica central de Minas Gerais. I. Caracterização preliminar da Lagoa Santa, MG. In: IV Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, SP, p.399-437.
- BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa. 2000. In: Schobbenhaus,C.; Campos,D.A.; Queiroz,E.T.; Winge,M.; Berbert-Born,M. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio015/sitio015.htm>> Acesso em: 14 de janeiro de 2007.
- BRIGHENTI, LS., 2009. Avaliação limnológica da lagoa Central (município de Lagoa Santa – MG): Uma abordagem espacial. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 92 p. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.
- CAMBRAIA, BN., 1999. Efeitos do enriquecimento artificial com nitrogênio e fósforo sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica da lagoa Olhos d'Água, município de Lagoa Santa – MG. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 148 p. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.
- Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA e CONCREMAT, 2009. Programa de saneamento ambiental para a bacia do Ribeirão da mata. Relatório técnico gerencial. Disponível em: <<http://sites.google.com/site/ribeiraodamata/home/programa-de-saneamento-ambiental-rib-mata.>> Acesso em: ago.2010.
- COUTINHO, ME., BARBOSA, FAR., 1986. Distribuição vertical de matéria orgânica, nitrogênio orgânico total, fósforo total e algumas formas iônicas dos sedimentos recentes de 3 lagos de Minas Gerais. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol.1, p.401-429.
- FIGUEREDO, CC., 2007. Dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju na lagoa central de Lagoa Santa (MG). Belo

- Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 102 p. Tese de Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.
- HERRMANN, G., KOHLER, HC., DUARTE, JC., CARVALHO, PGS., 1998. Relatórios temáticos do Zoneamento da APA Carste de Lagoa Santa – Meio Biótico. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 92 p.
- LANDA, GG., TÔRRES, GE., 2004. Distribuição vertical do zooplâncton e avaliação de parâmetros físico-químicos da lagoa Olhos d'Água – Lagoa Santa /MG. Sinapse Ambiental, vol.1, no.4, p.23-35.
- LUND, E., 1999. Peter Wilhelm Lund e sua família. Revista O Carste, vol.11, p.26-33.
- MAIA-[BARBOSA, PM.](#), MENENDEZ, RM., BARBOSA, FAR., 1996. Zooplankton composition of five lakes of the Lagoa Santa karstic plateau. Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology, vol.26, p.1963-1967.
- PATRUS, MLRA., 1998. Relatórios temáticos do Zoneamento da APA Carste de Lagoa Santa – Estudos hidrológicos e qualidade das águas de superfície. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 58 p.
- REIS, SPW., BARBOSA, FAR., 1993. Estudo da composição de macrófitas aquáticas da lagoa dos Mares, municípios de Lagoa Santa, com ênfase em aspectos ecológicos de *Salvinia herzogii* (AUBL.). Acta Limnologica Brasiliensis, vol.VI, p.196-208.
- ROSA, CA., RESENDE, MA., BARBOSA, FAR., MORAIS, PB., FRANZOT, SP., 1995. Yeast diversity in a mesotrophic lake on the karstic plateau of Lagoa Santa, MG-Brazil. Hydrobiologia, vol.308, no.2, p.103-108.
- SANTOS, MBL., ROCHA, LA., MARQUES, MMGM., BARBOSA, FAR., 1998. Diversidade e abundância da fauna bentônica de cinco lagoas do karste do planalto de Lagoa Santa, Minas Gerais. In: Nessimian, J. L., Carvalho, A.L. (Org.). Ecologia de Insetos. Séries Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, vol.5, p.77-89.
- SIMÕES, CA. et al., 2005. Impactos antrópicos em ambientes cársticos: o caso da micro-bacia Palmeiras-Mocambo, Matozinhos / MG. Revista O Carste, vol. 7, no. 4, p.146-155.

# Capítulo 1

Carbono orgânico dissolvido como indicador de estado trófico em quatro lagoas rasas  
de Minas Gerais, Brasil

Silvino, R. F. & Barbosa, F. A. R.

Artigo a ser submetido à revista *Brazilian Archives of Biology and Technology*.



Título: Carbono orgânico Dissolvido como indicador de estado trófico em quatro lagoas rasas tropicais, Minas Gerais, Brasil

Título resumido: COD como indicador de estado trófico

Silvino, R. F. & Barbosa, F. A. R.\*

Laboratório de Limnologia, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 30161-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

\*e-mail: [barbosa@icb.ufmg.br](mailto:barbosa@icb.ufmg.br)

## Resumo

*O presente estudo visa verificar a aplicabilidade do uso das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) para avaliar o estado trófico e investigar a predominância das fontes de COD (autóctones e alóctones) de quatro lagoas (Mares, Confins, Olhos d'Água e Sumidouro) localizadas na região carste de Minas Gerais. Parâmetros limnológicos foram coletados durante os períodos de chuva e seca de 2009 e 2010, para determinar correlações entre índices de estado trófico (Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991), Carlson, modificado por Lamparelli (2004)) e COD. A concentração de COD, alta em lagos eutróficos, foi maior em Confins e Sumidouro; e apresentou, através de análise de regressão, uma relação logarítmica com dois dos índices avaliados. A lagoa dos Mares apresentou o menor grau de eutrofização, as lagoas Confins e Sumidouro os níveis tróficos mais elevados e a lagoa Olhos d'água uma posição intermediária entre estes, segundo índices e concentração de COD. Por se tratar de um único parâmetro, o COD constitui uma ferramenta prática para avaliações de curto prazo e deve ser associado à caracterização tradicional (fósforo-clorofila) na avaliação de estado trófico e estudos de monitoramento. A razão C:N demonstrou ser uma ferramenta importante para um melhor entendimento dos agentes estressores que acometem estes ambientes.*

**Palavras-chave:** índices tróficos, eutrofização, razão C:N, alóctone, autóctone

## **Abstract**

*This study aims to verify the applicability of concentration of dissolved organic carbon (DOC) as a tool to evaluate trophic state and investigate the predominance of DOC sources (autochthonous and allochthonous) in Lake Mares, Lake Confins, Lake Olhos d'Água and Lake Sumidouro. Limnological parameters were composed during the dry and rainy season of 2009 and 2010, in order to establish correlations between trophic state indexes (Carlson modified by Toledo et al. (1983), Salas & Martino (1991), Carlson modified by Lamparelli (2004)) and DOC. DOC concentration, elevated in eutrophic lakes, was higher in Lake Confins and Lake Sumidouro. It was also established, by means of regression analysis, a logarithmic relationship with two of the indexes. Lake Mares had the lowest degree of eutrophication, and Lake Confins and Sumidouro, the highest trophic levels, while Lake Olhos d'Água had an intermediate position between them, according to the indexes and DOC concentrations. Because it is a single parameter, DOC is a practical tool for short-term evaluation and it should be associated with the traditional description (phosphorus-chlorophyll) in trophic states evaluation and monitoring studies. The C:N ratio have demonstrated to be a significant tool for a better understanding of the stressors which affect these environments.*

**Key words:** trophic state indices, eutrophication, C:N ratio, allochthonous, autochthonous

## **INTRODUÇÃO**

O grande esforço de ecólogos para classificar os corpos d'água segundo seu estado trófico tem sido associado à pesquisa no controle da eutrofização cultural de lagos e tem focado mais a produção primária (Dodds e Cole 2007). Este sistema tem formado a base dos programas de manejo em lagos e reservatórios e utiliza variáveis como concentração de clorofila *a*, concentração de nutrientes e profundidade do disco Secchi.

O programa da Organização para Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD) estabeleceu limites para classificação trófica de ambientes temperados

baseados em concentração de clorofila *a*, concentração de fósforo total e profundidade do disco Secchi (OECD 1982). Carlson (1977) considerou o processo de eutrofização um fenômeno multidimensional, que não pode ser avaliado pelo exame de apenas um parâmetro e desta forma definiu um índice de estado trófico, usando uma transformação linear da transparência pelo disco de Secchi, que avalia a concentração de biomassa. Além da transparência, o índice pode ser expresso em função das concentrações de fósforo e clorofila *a*, para a avaliação da situação trófica do ambiente, porém não delimita os estados tróficos. Posteriormente Kratzer e Brezonick (1981) estabeleceram limites para os estados tróficos, a partir deste sistema.

O grau de trofia, através de índices que consideram as particularidades dos ambientes tropicais, pode ser obtido através do Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), do modelo trófico simplificado para fósforo formulado por Salas e Martino (1991) e mais recentemente pelo índice de Lamparelli (2004), também modificado do proposto por Carlson (1977).

A fim de se contemplarem ambientes aquáticos ricos em compostos húmicos com elevada produtividade secundária ou que possuem alta concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), o termo distrófico foi acrescentado nas categorias de estado trófico em 1921 por Thienemman, segundo Williamson et al. (1999).

Segundo Dodds e Cole (2007), tanto a produção primária quanto os processos heterotróficos-chave são necessários na avaliação do estado trófico. Mais recentemente tem sido reconhecida a importância do carbono ou subsídios alóctones de carbono para cadeias alimentares de lagos (Webster 2008). No entanto, o papel do COD sempre foi negligenciado e o foco de estudos e pesquisas em limnologia dirigido para a relação fósforo-clorofila (Williamson et al. 1999). De acordo com Williamson et al. (1999), a relação nutrientes-productividade, amplamente utilizada, e o estado trófico são importantes ferramentas conceituais. No entanto, o COD deve ser incorporado a este paradigma para um maior entendimento dos lagos.

O COD é uma das principais frações da matéria orgânica que se constitui em fonte de energia nos ambientes aquáticos, podendo também influenciar os mais diversos processos biogeoquímicos que neles se desenvolvem (Kruger et al. 2003). O COD de origem terrestre é responsável pelo controle ascendente (regulação do metabolismo aquático resultante da disponibilidade de recursos aos organismos na teia trófica), que

em geral favorece o metabolismo aquático heterotrófico e a evasão de CO<sub>2</sub> de lagos para atmosfera (Lennon 2004).

A presença de matéria orgânica alóctone, desta forma, ajuda a explicar a descoberta de que vários ambientes aquáticos continentais funcionam em heterotrofia, ou seja, apresentam taxas de respiração maiores do que de produção primária. Neste caso, além da matéria orgânica produzida no próprio ecossistema, a matéria alóctone é também consumida pelas bactérias, gerando elevadas taxas de respiração comparativamente à produção primária (Thomaz 1999).

O COD em lagos possui origem natural (autóctone e alóctone) e antrópica. O COD autóctone é oriundo da produção primária (perifiton, macrófitas e fitoplâncton) (Wetzel 2001), enquanto a fração alóctone é predominantemente associada com a decomposição da vegetação terrestre e é carregada para o ambiente aquático basicamente por lixiviação através do solo (Wetzel 2001, Sobek et al. 2007).

Trabalhos como de Jones (1992) e Nürnberg e Shaw (1999) demonstram que lagos com altas concentrações de COD podem ser mesotróficos e até mesmo eutróficos. Sugiyama et al. (2004) analisaram 10 lagos de diferentes estados tróficos no Japão, Rússia e China e constataram que o COD possui alto valor em lagos eutróficos, quando comparado com ambientes meso e oligotróficos. Thurman (1985) determinou concentrações típicas de COD para a determinação de estado trófico e trabalhos como de Kim et al. (2000), Dunalska et al. (2006) e Dunalska (2011) utilizam a concentração de COD e COT (Carbono Orgânico Total) como indicadores de estado trófico em lagos, assim como o fósforo e a clorofila .

A aplicabilidade do uso das concentrações de COD para avaliar o estado trófico é verificada, no presente estudo, por meio da sua relação com os índices formulados para ambientes tropicais (Toledo et al. 1983, Salas e Martino 1991 e Lamparelli 2004), bem como os parâmetros físicos e químicos utilizados nestes. O trabalho objetiva, também, investigar as fontes de COD das lagoas estudadas.

## ÁREAS DE ESTUDO

Foram selecionadas quatro lagoas na região do carste de Lagoa Santa, em Minas Gerais, dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa (Tab.1 e Fig. 1).

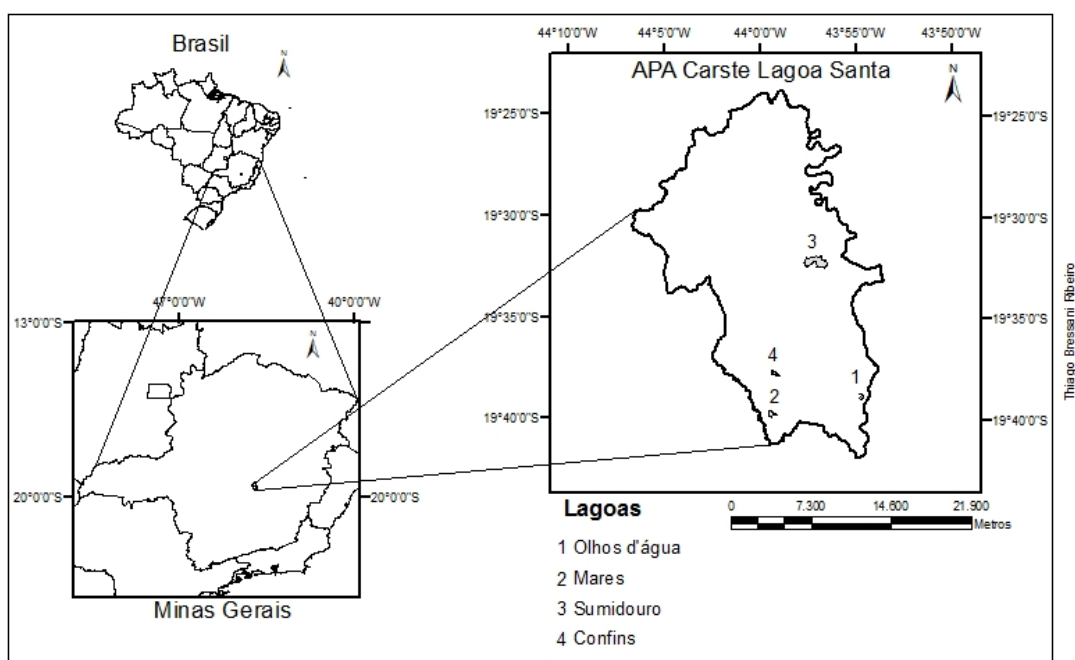


Figura 1. Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil).

Tabela 1. Localização geográfica e área da bacia das lagoas selecionadas.

Lagoas	Municípios	Coordenadas	Área da bacia
Confins (LC)	Confins	19°37'45"S; 43°59'11"W	4,98 Km <sup>2</sup>
Olhos d'água (LO)	Lagoa Santa	19°38'54"S; 43°54'34"W	1,63 Km <sup>2</sup>
Mares (LM)	Confins	19°39'44"S; 43°59'25"W	1,74 Km <sup>2</sup>
Sumidouro (LS)	Lagoa Santa	19°32'10"S; 43°57'00"W	32,44 Km <sup>2</sup>

e Pedro Leopoldo

A lagoa do Sumidouro é a maior lagoa da região em área e pertence além da APA ao Parque Estadual do Sumidouro. As lagoas Confins e Olhos d'Água estão localizadas em

áreas bastante urbanizadas e mais expostas as pressões antrópicas do que a lagoa dos Mares, que possui seu entorno ocupado por chácaras. De maneira geral as lagoas do carste de Lagoa Santa, embora em sua maioria incluídas em uma APA são impactadas pela ocupação antrópica de seu entorno, resultando em riscos consideráveis à sua integridade e qualidade ambiental. As pressões antrópicas advêm de atividades urbanas e rurais, de origem doméstica, agrícola e industrial, incluindo atividades minerárias de extração e beneficiamento do calcário.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Parâmetros limnológicos foram medidos nas quatro lagoas durante o período de chuva e seca de 2009 e 2010 em um ponto da região limnética. As amostragens foram realizadas em fevereiro e setembro de 2009 e março e julho de 2010, quando foram medidas *in situ* a temperatura, oxigênio dissolvido, transparência, pH e condutividade elétrica. A profundidade nos pontos de amostragens e a transparência da água foram medidas com disco de Secchi.

Amostras de água foram coletadas para análises de clorofila *a*, fósforo total (P total), fósforo solúvel reativo (PO<sub>4</sub>-P), nitrogênio total (N total) de acordo com Lorenzen (1967), Koroleff (1976), Golterman et al. (1978), Mackeret et al. (1978). Foram coletadas também amostras para a obtenção de Carbono Orgânico Dissolvido (COD), as quais foram filtradas (filtros GF/F, Whatman) e guardadas em frascos escuros a 4 C° até a realização das análises. Todas as amostras foram coletadas a 0,5 m de profundidade. Foram feitos ainda perfis de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica utilizando-se sonda Horiba (modelo U-22). O carbono orgânico dissolvido (COD) foi determinado pela oxidação catalítica à alta temperatura utilizando-se o analisador TOC-5000 Shimadzu. Foi realizada a razão C:N com as médias das concentrações de COD e N total obtidas de cada lagoa analisada.

O grau de trofia foi avaliado através de índices que consideram particularidades de ambientes tropicais, notadamente os índices de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004). O índice de Toledo (1983) considera a média ponderada de expressões formuladas a partir dos dados de transparência da água, fósforo total dissolvido, ortofosfato solúvel e clorofila

a. Devido ao fato da profundidade do disco de Secchi ser muito afetada pela elevada turbidez dos corpos d'água tropicais na maior parte do ano, o índice é ponderado de forma a dar menor peso à variável transparência da água. Salas e Martino (1991) formularam um modelo trófico simplificado, que se utiliza apenas do parâmetro fósforo, enquanto Lamparelli, em 2004, propõe um índice modificado do proposto por Carlson (1977), que se utiliza do fósforo total e clorofila *a*. A tabela 2 apresenta os valores de COD, nitrogênio total e as medidas descritivas utilizadas para a obtenção dos valores dos índices tróficos. Os valores dos índices foram obtidos por meio das médias dos índices anuais (2009 e 2010), que foram calculados a partir das médias dos parâmetros (chuva e seca).

Tabela 2. Medidas descritivas de fósforo solúvel reativo (PO<sub>4</sub>-P), fósforo total (P total), clorofila *a*, transparência da água (disco de Secchi), COD e nitrogênio total (N total) das lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010.

Lagoas	Estação	PO <sub>4</sub> -P (µg/L)		P total (µg/L)		Clorofila <i>a</i> (µg/L)		Disco de Secchi (m)		COD (mg/L)		N total (µg/L)	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
LM	CHUVA	1,74	0,8	30,06	6,15	4,27	1,06	1,6	2,75	6,71	3,26	320,57	394,81
	SECA	0,92	0,45	41,47	89,16	4,06	9,08	2,2	3,25	6,54	3,19	148,30	228,73
LC	CHUVA	6,52	1,01	80,58	81,36	3,74	35,28	0,75	0,75	6,85	7,85	428,55	1155,40
	SECA	1,69	2,77	109,26	117,79	17,1	10,69	0,75	0,50	9,68	6,34	516,24	1611,35
LS	CHUVA	2,82	0,86	85,41	52,08	17,64	7,48	1,6	1,75	16,96	4,44	612,38	174,22
	SECA	0,52	1,1	36,15	27,21	10,69	2,94	0,5	0,50	15,77	-	319,44	260,83
LO	CHUVA	9,69	1,32	51,61	20,96	1,06	7,48	1,2	0,75	5,65	6,35	607,03	1070,58
	SECA	1,82	1,78	76,54	34,46	2,1	10,95	0,75	1	4,16	4,36	373,57	876,23

Para realizar a análise de variância a variável COD foi transformada ( $\ln(x+1)$ ), pois foram detectados problemas de homocedasticidade e linearidade na análise de resíduos. O  $\ln$ COD e os índices foram comparados entre lagoas, através de ANOVA e as comparações múltiplas foram realizadas via teste de Tukey. A relação entre os

índices, parâmetros físico-químicos e o lnCOD foi obtida por Análise de Regressão, estimando os coeficientes via Mínimos Quadrados. O software estatístico utilizado foi o R 2.11.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de COD variou entre 3,19 e 16,96 mg/L e apresentou média de 7,20 mg/L nas lagoas analisadas similar ao encontrado por Bezerra-Neto et al. (2006) em lagoas tropicais da região do médio Rio Doce no estado de Minas Gerais, em que a variação de COD foi de 3,35 a 14,09 mg/L e a média de 7,28 mg/L.

A lagoa do Sumidouro apresentou as maiores concentrações de COD, enquanto a lagoa dos Mares apresentou as menores tanto do COD quanto dos valores dos índices de estado trófico avaliados (Fig.2). As lagoas dos Mares e Confins diferiram de maneira significativa em relação aos índices de estado trófico propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) e Salas e Martino (1991) (Tab.3). As lagoas analisadas não diferiram estatisticamente quanto ao índice de Lamparelli e concentrações de COD.

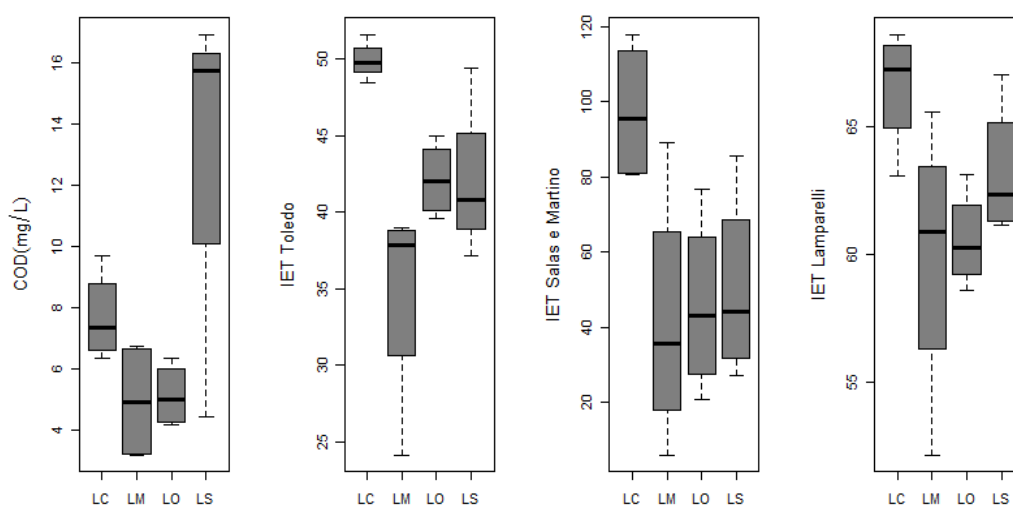


Figura 2. Representação gráfica (*box-plot*) da distribuição de COD e índices de estado trófico propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) no período de 2009 e 2010.



Tabela 3. Comparações múltiplas dos índices propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) e Salas e Martino (1991) entre as lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) – Teste de Tukey.

Lagoas	LM-LC	LO-LC	LS-LC	LO-LM	LS-LM	LS-LO
IET Toledo	0,0011	0,0673	0,0635	0,0838	0,0888	1,0000
IET Salas e Martino	0,0350	0,0518	0,0777	0,9943	0,9566	0,9938

A lagoa Confins apresentou as maiores médias dos valores de todos os índices avaliados e, apesar das discordâncias entre eles quanto às classificações tróficas obtidas (Tab.4), esta constitui o ambiente de maior nível trófico. A mesma lagoa apresenta uma concentração média de COD de 7,7 mg/L, concentração típica de ambientes eutróficos segundo Thurman (1985). Para este autor ambientes oligotróficos apresentam concentrações típicas de COD entre 1 e 3, mesotróficos entre 2 e 4 e eutróficos entre 3 e 34 mg/L.

Tabela 4. Classificação de estado trófico segundo os sistemas propostos por Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991), Carlson, modificado por Lamparelli (2004) e relação C:N nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS). Média de todas as amostragens, seca e chuva de 2009 e 2010.

Lagoas	IET Toledo	Categoria Trófica	IET Salas e Martino	Categoria Trófica	IET Lamparelli	Categoria Trófica	C:N
LC	52,7	Mesotrófico	97,2	Eutrófico	67,1	Hipereutrófico	8,3
LM	37,0	Oligotrófico	41,7	Mesotrófico	61,6	Eutrófico	18,1
LO	43,5	Oligotrófico	45,9	Mesotrófico	61,2	Eutrófico	7
LS	43	Oligotrófico	50,2	Mesotrófico	63,6	Supereutrófico	36,1

As lagoas Sumidouro e Olhos d'água apresentaram médias de concentração de COD iguais a 12,4 mg/L e 5,1 mg/L, respectivamente. Estes valores segundo Thurman (1985) são típicos de ambientes eutróficos e corroboram com as classificações obtidas pelo índice de Lamparelli para as mesmas lagoas. Apesar de Wetzel (2001) ter classificado lagos distróficos, ou seja, coloridos e ricos em COD, como oligotróficos trabalhos recentes mostram que muitos destes lagos são mesotróficos ou até mesmo eutróficos pelo critério clássico, que considera a produção primária (Sugiyama et al. 2004). A lagoa dos Mares, assim como para os valores dos índices (IET Toledo, IET Salas e Martino e IET Lamparelli) apresentou a menor média de concentração de COD

(4,9 mg/L), que está bem próxima de valores considerados típicos de ambientes mesotróficos, segundo Thurman (1985).

Assim a análise de COD pode indicar o estado trófico nos ambientes avaliados e complementar a caracterização tradicional, que utiliza como ferramenta a análise da produtividade primária. Dunalska (2006) considera a medição das concentrações de carbono orgânico como um bom indicador do grau de degradação e de poluição das águas superficiais. É importante frisar que dentre os índices dirigidos para ambientes tropicais o de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) demonstrou ser inadequado para a região em questão, pois apresenta classificações de estado trófico não condizentes com a qualidade da água das lagoas avaliadas, que apresentam altas concentrações de nutrientes e clorofila *a*. Esta inadequação provavelmente se deve a utilização de um maior número de variáveis, que não necessariamente são afetadas pela degradação do ambiente. Os índices de Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) demonstraram ser mais coerentes com o estado ambiental das lagoas e passíveis de serem recomendados na avaliação ambiental dos ambientes aquáticos da região do carste de Lagoa Santa. O COD apresentou uma relação logarítmica com os índices de Toledo ( $R^2=0,28$ ,  $p=0,0009$ ) e Lamparelli ( $R^2=0,26$ ,  $p<0,0001$ ) (Fig.3). Não existem evidências de relação linear nem mesmo logarítmica entre o índice de Salas e Martino e COD ( $R^2=0,04$ ,  $p=0,3620$ ) (Fig.3). O índice de Toledo et al. (1983) considera a média ponderada de expressões formuladas a partir dos dados de transparência da água, P total,  $PO_4$ -P e clorofila *a*. O índice de Lamparelli (2004) utiliza P total e clorofila *a*, enquanto Salas e Martino (1991) utiliza apenas P total.

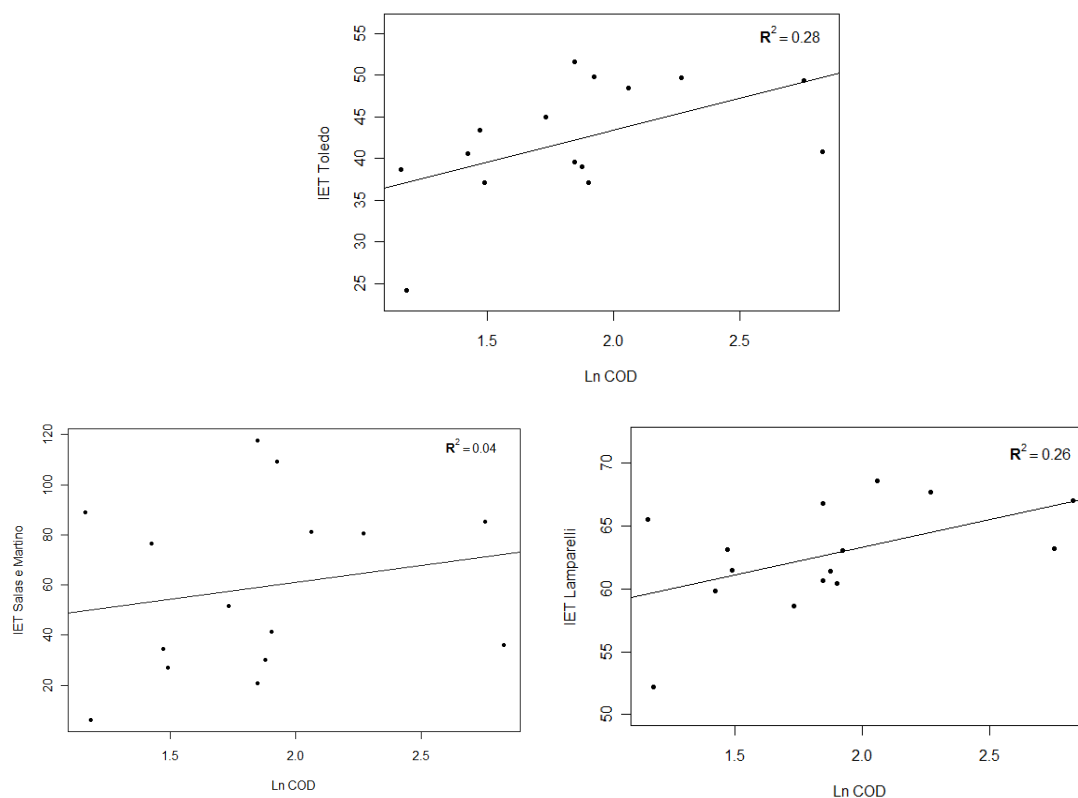


Figura 3. Análise de regressão de COD e índices tróficos de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Lamparelli (2004). Os dados foram das 4 lagoas analisadas (Mares, Confins, Sumidouro e Olhos d'Água).

A transparência da coluna da água estimada através da profundidade do disco de Secchi e a clorofila *a* foram os únicos parâmetros que apresentaram uma correlação com COD. Uma correlação negativa foi encontrada entre COD e profundidade do disco de Secchi ( $R^2=0,25$ ,  $p<0,0001$ ) (Fig.4). A transparência da coluna d'água é descrita como um parâmetro que possui uma relação negativa com COD, já que este atenua a radiação solar na coluna d'água (Williamson et al. 1999). Sugiyama et al. (2004) identificaram uma correlação negativa ( $R^2=0,53$ ) entre COD e transparência da água aferida pelo disco de Secchi.

A clorofila *a* apresentou uma correlação positiva ( $R^2=0,24$ ,  $p=0,0001$ ) com o COD (Fig.4). No trabalho de Kim et al. (2000) COD e clorofila *a* não foram significativamente relacionados, enquanto, Nürnberg e Shaw (1999) encontraram uma relação positiva ( $R^2=0,17$ ) próxima à encontrada no presente trabalho.

Os dois parâmetros, transparência e clorofila *a*, estão presentes nos índices que apresentaram correlação com COD e ausentes no índice de Salas e Martino (1991), que utiliza unicamente o parâmetro P total. Os parâmetros P total e PO<sub>4</sub>-P não apresentaram correlação com COD. Nürnberg e Shaw (1999) encontraram uma relação entre COD e P total igual a  $R^2=0,24$ , enquanto Håkanson (1995) obtiveram uma relação mais elevada ( $R^2=0,40$ ).

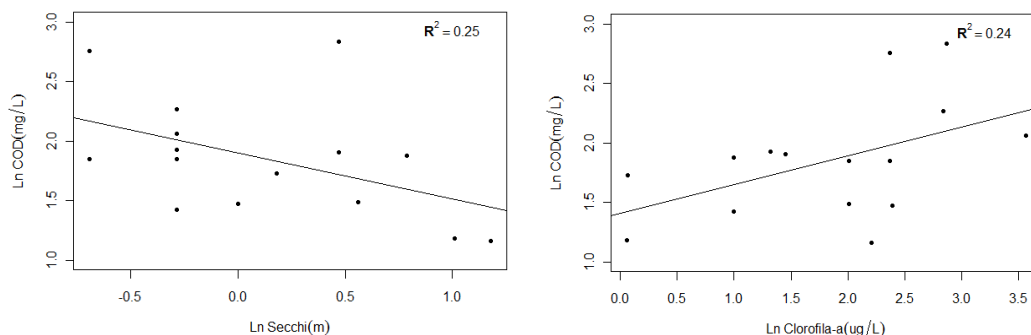


Figura 4. Análise de regressão de COD e profundidade de disco de Secchi e Clorofila *a*. Os dados foram das 4 lagoas analisadas (Mares, Confins, Sumidouro e Olhos d'Água).

Mesmo não havendo correlações altas entre COD e índices as lagoas podem ser distinguidas de maneira similar através dos valores das concentrações de COD e dos índices. Assim de acordo com os valores dos índices tróficos de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Lamparelli (2004) e COD, a lagoa dos Mares apresentou o menor estado trófico, a lagoa Confins e Sumidouro os estados tróficos mais elevados e a lagoa Olhos d'água uma posição intermediária entre estes. Williamson (1999) salienta que os sinais fornecidos pela quantidade e qualidade de COD constituem informações fundamentais para um melhor entendimento dos lagos e de seus agentes estressores.

A concentração de COD pode ser compatível às observadas em águas naturais continentais, mas também pode ser oriunda da ocupação humana e de suas conseqüências, como o uso de pastagens e o aporte de esgotos, por isso a importância de se associar a análise da concentração de COD a sua origem. A razão C:N foi maior na lagoa Sumidouro seguida por Mares, Confins e Olhos d'água (Tab.4). Segundo Wetzel (2001), a razão C:N aumenta com as altas concentrações de COD, como registrado em Sumidouro (Tab.4), devido ao aporte significativo de material alóctone.

Valores de C:N > 20, como o apresentado pela lagoa Sumidouro (36,1 mg/L), são característicos da matéria orgânica terrestre, produzida principalmente por plantas superiores (Meyers 1994). É necessário salientar que a bacia da lagoa Sumidouro, além de ser a maior de todas as lagoas analisadas, possui *c.* 32,3% de sua área recoberta com remanescentes de floresta estacional/cerrado e 55% de pastagem, fontes conhecidas de COD. Segundo Sugiyama et al. (2004), a fonte de COD em ambientes é afetada não só pela bioatividade na coluna d'água, mas pelas mudanças no uso do solo, atividades humanas e cobertura vegetal na bacia hidrográfica.

As lagoas Olhos d'água e Confins apresentaram razão C:N entre 4 e 10 (Tab.4), o que, segundo Meyers (1994), comumente caracteriza a predominância de origem autóctone (algas e macrófitas). A lagoa dos Mares, apesar da menor média de COD registrada, apresentou uma razão C:N entre 10 e 20 (Tab.4), que representa uma mistura de material de plantas aquáticas e terrestres (Meyers 1994). Esta lagoa é caracterizada desde a década de 90 (Reis e Barbosa 1993) pela presença de bancos de macrófitas aquáticas, que avançam da margem para toda a superfície da lagoa.

## CONCLUSÕES

Existe no estudo uma correlação entre COD e os índices de estado trófico de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) e Lamparelli (2004). Esta correlação se deve provavelmente ao uso dos parâmetros transparência da água e clorofila *a*, que também, obtiveram correlação com o COD. Por se tratar de um único parâmetro, o COD constitui uma ferramenta prática para avaliações de curto prazo e deve ser associado à caracterização tradicional (fósforo-clorofila) na avaliação de estado trófico e estudos de monitoramento. No entanto, o seu uso é oneroso quando comparado à análise tradicional. Os índices de Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) demonstraram ser os mais adequados para avaliação ambiental dos ambientes aquáticos da região do carste de Lagoa Santa. A razão C:N demonstrou ser uma ferramenta importante para um melhor entendimento dos agentes estressores que acometem estes ambientes, já que a concentração de COD pode ser compatível as observadas em águas naturais continentais, mas também pode ser oriunda da ocupação humana e de suas conseqüências.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Bernardo O. Ferreira, Marcelo Augusto R. Costa, Pedro Maia Barbosa e Raquel S. Jacob pelo suporte no trabalho de campo e análises laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

- BEZERRA-NETO, JF., BARBOSA, PM., BARBOSA, FAR. Temporal variation of attenuation of the visible radiation in four lakes of Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brasil. *Acta Limnol. Bras.* 2006; 18(1):39-46.
- CARLSON, RE. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 1977; 22(2): 361-369.
- DODDS, WK., COLE, JJ. Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs. *Aquat. Sci.* 2007; 69: 427-439.
- DUNALSKA, J. Total organic carbon as a new index for monitoring trophic states in lakes. *Ocean. and Hydro.* 2011; 40(2): 112-115.
- DUNALSKA, J., ZDANOWSKI, B., STAWECKI, K., PYKA, J. Organic carbon as an indicator of variations in the trophic state of two lakes located in the upper reaches of the Lyna river (Mazurian Lakeland, Poland). *Arc. Pol. Fish.* 2006; 14: 271-282.
- GOLTERMAN, HL., CLYMO, RS., OHMSTAD, MAM. *Methods for chemical analysis of freshwaters.* 2<sup>nd</sup> ed. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications; 1978.
- HÄKANSON, L. Models to predict lake annual mean total phosphorus. *J. Aquatic Ecosyst. health.* 1995; 4:25-58.
- JONES, RI. The influence of humic substances on lacustrine planktonic food chains. *Hydrobiologia*, 1992; 229: 73-91.
- KIM, B., KWANGSOON, C., KIM, C., LEE, UE., KIM, YH. Effects of the summer monsoon on the distribution and loading of organic carbon in a deep reservoir, lake Soyang, Korea. *Water Research*, 2000; 34: 3495-3504.
- KOROLEFF, F. Determination of ammonia. In GRASSHOFF, K. *Methods of seawater analysis.* Weinheim: Verlag Chemie; 1976.
- KRATZER, CR. and BREZONICK, PLA. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Wat. Resour. Bull.*, 1981; 17: 713-714.
- KRUGER, GCT., CARVALHO, CEV., FERREIRA, AG., GONÇALVES, GM., TRUCCOLO, EC., SCHETTINI, CAF. Dinâmica de carbono orgânico dissolvido no estuário do Rio Paraíba do Sul, R.J., sob diferentes condições de mare e descarga fluvial. *Atlântica*, 2003; 25(1): 27-33.
- LAMPARELLI, MC. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento [PhD thesis]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2004.
- LENNON, JT. Experimental evidence that terrestrial carbon subsidies increase CO<sub>2</sub> flux from lake ecosystems. *Oecologia*, 2004; 138(4):584-591.
- LORENZEN, CJ. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 1967; 12: 343.
- MACKERET, FJH., HERON, JF. and TALLING, JF. *Water analysis: some revised methods for limnologists.* (Freshwater Biological Association Scientific Publication, 39). Kendall: Titus Wilson & Son Ltd.; 1978.

- MAROTTA, H. Os fatores reguladores do metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de dióxido de carbono entre os lagos e a atmosfera. *Oecol. Bras.*, 2006; 10 (2):177-185.
- MEYERS, PA. Preservation of Elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology: Isotope Geosc. Sec.*, 1994; 114: 289-302.
- NURNBERG,GK., SHAW, M. Productivity of clear and humic lakes: Nutrients, phytoplankton, bactéria. *Hydrobiologia*, 1999; 382: 97-112.
- Organization for Economic Co-Operation and Development – OECD. Eutrofication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris: OECD; 1982.
- REIS, SPW., BARBOSA, FAR. Estudo da composição de macrófitas aquáticas da lagoa dos Mares, municípios de Lagoa Santa, com ênfase em aspectos ecológicos de *Salvinia herzogii* (AUBL.). *Acta Limnol. Bras.*, 1993; VI:196-208.
- SALAS, HJ., MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Wat. Res.*, 1991; 25: 341-350.
- SOBEK, S., TRANVIK, LJ., PRAIRIE, YT., KORTELAINEN,P., COLE, JJ. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 2007; 52 (3): 1208- 1219.
- SUGIYAMA, Y., ANEGAWA, A., KUMAGAI,T., HARITA, YH., HORI, T., SUGIYAMA, M. Distribution of dissolved organic carbon in lakes of different trophic types. *Limnology*, 2004; 5: 165–176.
- THOMAZ, SM. O papel ecológico das bactérias e teias alimentares microbianas em ecossistemas aquáticos. In: Pompêo, M. L. M. (Ed.) *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. São Luis: Gráfica e Editora União; 1999.
- THURMANN, EM. *Developments in Biochemistry. Organic Geochemistry of natural Waters*. Boston: Martinus Nijhoff/Dr W.Junk Publishers;1985.
- TOLEDO, AP., TALARICO, M., CHINEZ, SJ., AGUDO, EG. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização de lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária; 1983; Camburiú, Brazil. Camburiú: UFSC; 1983. p.1-34.
- WEBSTER, KE., SORANNO, PA., CHERUVELIL, KS., BREMIGAN, MT., DOWNING, JA.,VAUX, PD., et al. An empirical evaluation of the nutrient-color paradigm for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 2008; 53 (3): 1137- 1148.
- WETZEL, R. G. *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3rd ed. San Diego, Academic Press; 2001.
- WILLIAMSON, CE., MORRIS, DP., PACE, ML., OLSON, OG., 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: resurrection of a more integrated paradigm. *Limnol. Oceanogr.*, 1999; 44 (3):795-803.

## Capítulo 2

Assembleias fitoplanctônicas como ferramenta de análise de estado trófico em lagoas tropicais

Silvino, R. F. & Barbosa, F. A. R.

Artigo a ser submetido à revista *Hydrobiologia*.



**Assembleias fitoplanctônicas como ferramenta de análise de estado trófico em lagoas tropicais**

**Renata Felipe Silvino · Francisco Antônio Rodrigues Barbosa\***

Laboratório de Limnologia, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 30161-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. \*e-mail: [barbosa@icb.ufmg.br](mailto:barbosa@icb.ufmg.br)

Palavras-chave: índices tróficos, eutrofização, grupos funcionais, fitoplâncton.

“Este documento não foi apresentado em outro lugar de forma idêntica ou semelhante, nem será, durante os primeiros três meses após a sua submissão para Hydrobiologia.”

## Resumo

O presente estudo investiga a aplicação dos grupos funcionais como ferramenta de avaliação do estado trófico em quatro lagoas tropicais (Mares, Confins, Sumidouro e Olhos d'água). As seguintes hipóteses foram testadas: (1) os grupos funcionais respondem às condições ambientais observadas no sistema lacustre estudado; (2) os grupos funcionais predominantes nas lagoas analisadas corroboram os estados tróficos das mesmas. Os resultados de biomassa média estão de acordo com aqueles obtidos para o índice trófico Salas e Martino (1991), que classifica a lagoa Confins como eutrófica e as demais lagoas como mesotróficas. Quarenta espécies descritoras (> 5% da biomassa total) foram identificadas e representam 15 grupos funcionais. Cinco grupos funcionais (F, L<sub>O</sub>, MP, W1 e Y) ocorreram em todas as quatro lagoas e seis (L<sub>O</sub>, J, F, TD, TC e NA) foram os mais representativos. A ordenação de unidades amostrais e grupos funcionais fitoplanctônicos é influenciada por sua afinidade aos nutrientes, clorofila *a* e Índice de Estado Trófico (IET). Os grupos funcionais associados a ambientes eutróficos, J, P, X1 e TC correlacionam-se positivamente com N-total, P-total, PO<sub>4</sub>-P e IET, assim como a maior parte das amostras da lagoa Confins. Os resultados obtidos evidenciaram uma concordância entre grupos funcionais dominantes e as condições ambientais, particularmente o estado trófico, que podem ser observadas também na análise das espécies descritoras mais representativas.

## **Abstract**

This study aims to investigate the application of functional groups as an evaluation tool for trophic state in four tropical lakes (Lake Mares, Lake Confins, Lake Sumidouro and Lake Olhos d'Água). The following hypothesis were tested: (1) functional groups react to the environmental conditions of the respective lacustrine system; (2) prevailing functional groups in analyzed lakes corroborate to the trophic conditions ther of. The average biomass results are in agreement with those obtained for the Trophic Index Salas and Martino (1991), which classifies Lake Confins as eutrophic and other lakes as mesotrophic. Forty species descriptors (> 5% of total biomass) were identified and represent fifteen functional groups. Five functional groups (F, L<sub>O</sub>, MP, W1 e Y) occurred in all four lakes and six of them (L<sub>O</sub>, J, F, TD, TC and NA) were the most representative. The groups J, P, X1 e TC, which were associated with eutrophic environments, correlated positively with total-N, total-P, PO<sub>4</sub>-P and TSI, as well as most of the samples of lake Confins. The results support a correlation between prevailing functional groups and environmental conditions, particularly the trophic state, which can also be observed in the analysis of the most representative species descriptors.

## Introdução

A análise do estado trófico em que se encontra um corpo d'água, surgiu para um maior entendimento e controle do processo da eutrofização e utiliza basicamente clorofila *a*, concentração de nutrientes e profundidade do disco Secchi. Os índices de Carlson (1977) e o da OECD (1982), apesar de amplamente utilizados, foram formulados para ambientes temperados e, segundo Huszar et al. (1998), apresentam dificuldades de aplicação em áreas tropicais. Para avaliação de ambientes tropicais quanto à eutrofização, foram desenvolvidos índices que consideram as particularidades destes ecossistemas, como o desenvolvido por Salas e Martino (1991).

O uso de espécies ou de grupos funcionais, agrupamentos de organismos que devem co-ocorrer sob determinadas condições ambientais, é recomendado como uma ferramenta de indicação ambiental de significativa importância na avaliação da qualidade da água e estado trófico (Reynolds, 1998; Huszar et al., 1998; Crossetti & Bicudo, 2008; Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009). O fitoplâncton, além de ser de grande importância na avaliação da integridade biótica de ecossistemas aquáticos, possui muitos de seus atributos relacionados com o estado trófico (Huszar et al., 1998). Segundo Brasil & Huszar (2011), resultados obtidos de 33 ecossistemas aquáticos brasileiros indicaram que diferentes tipos de ecossistemas (rios, lagos, estuários e reservatórios) compartilham grupos funcionais similares em estados tróficos similares.

No sistema de classificação funcional do fitoplâncton de água doce elaborado por Reynolds et al. (2002) e revisado por Padisák et al. (2009), as espécies são agrupadas pelos atributos: tipo de habitat, tolerância e sensibilidade a fatores ambientais. Há um reconhecimento amplo de que lagoas com diferentes estados tróficos possuem distintas assembleias fitoplanctônicas (Reynolds et al., 2000) e que o sistema proposto por Reynolds et al. (2002) constitui uma potencial ferramenta para sintetizar os tipos de comunidades em ecossistemas aquáticos, levando-se em consideração o tipo de ambiente e seu estado trófico.

O presente estudo procura investigar a aplicação dos grupos funcionais como ferramenta de avaliação do estado trófico em quatro lagoas tropicais. As seguintes hipóteses foram testadas: (1) os grupos funcionais respondem às condições ambientais observadas no sistema lacustre estudado; (2) os grupos funcionais predominantes nas lagoas analisadas corroboram os estados tróficos das mesmas.

## **Materiais e métodos**

Foram selecionadas quatro lagoas dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa (APA Carste de Lagoa Santa): Confins (19°37'45"S; 43°59'11"W) e Mares (19°39'44"S; 43°59'25"W), localizadas no município de Confins; Olhos d'Água (19°38'54"S; 43°54'34"W), no município de Lagoa Santa, e Sumidouro (19°32'10"S; 43°57'00"W), na região limítrofe entre os municípios de Pedro Leopoldo e Lagoa Santa, estado de Minas Gerais (Fig. 1).

Segundo Patrus (1998) a região da APA se enquadra no tipo climático Aw, proposto por Koppen, ou seja, tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 22,8°C; umidade relativa média anual de 67,8% e; velocidade média anual do vento de 1,5m/s (Patrus, 1998). Dados da estação climatológica do município de Confins (Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Confins – DTCEA – CF) obtidos dos anos de 2009 e 2010 mostram que o período chuvoso se estendeu de outubro a março e o de seca, de abril a setembro (Fig. 2).

Amostragens limnológicas foram realizadas nas quatro lagoas nos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010, em dois pontos de coleta (regiões limnética e litorânea), totalizando 32 amostras. Após aferição da transparência da água pelo disco de Secchi, amostras de água foram coletadas na subsuperfície (0,5 m), para análises de clorofila *a*, fósforo total (P-total), fósforo solúvel reativo (PO<sub>4</sub>-P) e nitrogênio total (N-total) de acordo com Lorenzen (1967), Golterman et al. (1978), Mackeret et al. (1978). O estado trófico foi avaliado por meio da observação dos limites para a classificação trófica de ambientes tropicais estabelecido por Salas e Martino (1991). Foram utilizados os dados de fósforo total (P-total) da região limnética e as médias dos períodos de chuva e seca dos anos de 2009 e 2010 para a obtenção das classificações de estado trófico, considerando que estas são feitas em bases anuais.

A densidade fitoplanctônica foi estimada em campos aleatórios, utilizando o método de Utermöl (1958). A contagem dos indivíduos foi realizada até 400 indivíduos da espécie mais frequente (Lund et al., 1958).

Os dados de biomassa específica foram estimados pela multiplicação dos valores de densidade de cada espécie pela unidade volumétrica média dos indivíduos. Para o cálculo do volume celular foram medidos pelo menos 20 indivíduos, exceto no caso de

espécies raras. Os valores obtidos em  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$  foram transformados por  $\text{mm}^3.\text{L}^{-1} = \text{mg}.\text{L}^{-1}$ . Os grupos funcionais das espécies descritoras (> 5% da biomassa total) foram determinados através do sistema de classificação funcional do fitoplâncton de água doce (Reynolds et al., 2002; Padisák et al. 2009).

Para estabelecer o nível de significância ( $p < 0,05$ ) das variações entre as lagoas nos parâmetros limnológicos selecionados e índice de estado trófico avaliado (Salas e Martino, 1991) foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis, e para as comparações múltiplas o teste de Nemenyi. Para variáveis com distribuição normal foi utilizado ANOVA com três fatores e para realizar as comparações múltiplas teste de Tukey. Foi realizada a Análise de Correspondência Canônica (CCA), que tem como objetivo principal explicar a relação entre dois conjuntos de variáveis (biológicas e ambientais) encontrando um pequeno número de combinações lineares, para cada um dos conjuntos de variáveis, de modo a maximizar as correlações possíveis entre os grupos. O software estatístico utilizado foi o R 2.11.0.

## Resultados

### *Variáveis limnológicas e Estado Trófico*

Os maiores valores de transparência da água foram registrados na lagoa dos Mares, que difere estatisticamente de Confins e Sumidouro. A lagoa dos Mares apresentou também baixas concentrações de nutrientes, diferindo de Olhos d'Água quanto ao fósforo solúvel reativo e de Confins, quanto a nitrogênio total, fósforo solúvel reativo e fósforo total. A lagoa Confins apresentou as maiores concentrações de N-total e P-total não diferindo estatisticamente apenas da lagoa Olhos d'água quanto estas variáveis. (Tab.1 e 2).

A lagoa de Confins apresentou as maiores concentrações de clorofila *a* ( $> 16 \mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) diferindo estatisticamente da lagoa dos Mares. Tanto a lagoa Confins quanto a lagoa Sumidouro apresentaram valores de clorofila *a* acima do estabelecido para águas classe 1 (Brasil, 2005), enquadramento de qualidade das águas da região de estudo (Tab.1 e 2).

Todas as lagoas apresentaram concentrações médias de fósforo total ( $> 46 \mu\text{g} \text{L}^{-1}$ ) acima dos padrões determinados pela Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005), não

atendendo às exigências do enquadramento na classe 1 de qualidade das águas da região de estudo (Tab.1).

Diferenças estatísticas entre os períodos de seca e chuva foram registradas somente na variável fósforo total, que apresentou maiores concentrações na seca. Entre os anos diferiu a variável nitrogênio total, com maiores concentrações em 2010. Não foram registradas diferenças estatísticas entre a região limnética e litorânea das lagoas.

A lagoa Confins diferiu significativamente da lagoa dos Mares no índice de estado trófico avaliado (Tab.2). O índice de Salas e Martino (1991) classificou as lagoas dos Mares, Sumidouro e Olhos d'água como mesotróficas e Confins como eutrófica (Tab.3).

#### *Dinâmica do fitoplâncton e Grupos funcionais*

Foram identificadas 223 espécies de algas e cianobactérias, distribuídas em 13 classes taxonômicas. Quarenta dessas espécies foram consideradas descritoras e representaram 15 grupos funcionais. A biomassa fitoplanctônica média nas lagoas variou de 0,62 a 4,97 mg.L<sup>-1</sup> e a lagoa Confins foi o ambiente que apresentou os maiores valores médios de biomassa fitoplanctônica (4,97 mg.L<sup>-1</sup>), refletindo seu elevado estado trófico. Os menores valores médios referentes à biomassa foram apresentados pela lagoa Sumidouro (0,62 mg.L<sup>-1</sup>). A lagoa dos Mares e Olhos d'água apresentaram valores bastante similares, 1,25 e 1,22 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

A lagoa Olhos d'água apresentou o maior número de grupos funcionais (13), seguida das lagoas Sumidouro (12), dos Mares (11) e Confins (6). Cinco grupos funcionais ocorreram em todas as quatro lagoas: F, L<sub>o</sub>, MP, W1 e Y (Tab.4).

A contribuição dos principais grupos funcionais para a biomassa total variou entre lagoas. Na lagoa Confins, com elevado estado trófico, predominaram em termos de biomassa os grupos L<sub>o</sub>, F, e J. Segundo Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009), L<sub>o</sub> varia de sistemas oligotróficos a eutróficos, F ocorre em ambientes mesotróficos e J em eutróficos. Na lagoa dos Mares houve predomínio de TD, que é característico de ambientes mesotróficos. Na lagoa Olhos d'água predominou o grupo funcional J, que caracteriza ambientes eutróficos, enquanto na lagoa Sumidouro os grupos L<sub>o</sub> (oligo-eutrófico), F (mesotrófico) e NA (oligo-mesotrófico) foram os que apresentaram as maiores biomassas (Fig. 3).

Pela Análise de Correspondência Canônica (CCA), a ordenação de unidades amostrais e grupos funcionais fitoplanctônicos é baseada na sua afinidade com as variáveis ambientais e Índice de Estado Trófico (IET). Nesse caso, os valores de densidade de grupos funcionais fitoplanctônicos (variáveis biológicas) e os valores limnológicos (variáveis ambientais e IET) nas mesmas unidades amostrais foram analisados pela CCA e com o resultado foi elaborado um diagrama bidimensional. Os dois primeiros eixos da CCA apresentaram uma capacidade de 60,24% para explicar a interação entre os grupos analisados (Fig.4).

Pelos escores da ordenação das variáveis biológicas a contribuição positiva para o eixo I está relacionada aos grupos funcionais W2, Y, W1, X1, MP, TC, K, que por sua vez estão associados às variáveis ambientais P-total, Secchi PO<sub>4</sub>-P e IET. As principais contribuições negativas do eixo I são P, TD, L<sub>O</sub> e T, que estão mais associados a variável ambiental N-total (Fig.4).

Para o eixo II as principais contribuições positivas são de L<sub>O</sub>, W1, W2, MP e X1, enquanto que as principais contribuições negativas são os grupos funcionais F, E e Y, fortemente associados a clorofila *a* (Fig.4).

As amostras das lagoas Confins e Olhos d'água foram associadas a nutrientes e a grupos funcionais caracterizados por ocorrer em ambientes com elevado estado trófico. As amostras da lagoa dos Mares foram associadas a maior transparência do disco de secchi e às menores concentrações de clorofila *a* (Fig.4).

## **Discussão**

Os valores de biomassa fitoplanctônica corroboraram os resultados obtidos pelo índice trófico de Salas e Martino (1991) que classificou a lagoa Confins como eutrófica e as demais lagoas como mesotróficas. A lagoa Confins apresentou os maiores valores médios de biomassa, o que, segundo Reynolds (1980), apontam condições eutróficas. As variáveis associadas à eutrofização, como nutrientes e clorofila *a*, foram mais elevadas neste ambiente.

Os menores valores referentes à biomassa foram apresentados pela lagoa Sumidouro, média inferior a 3 mg.L<sup>-1</sup>, limite estabelecido por Reynolds (1980) para ambientes



mesotróficos. Estes valores médios de biomassa fitoplanctônica na lagoa Sumidouro podem ter sido mascarados devido à baixa amostragem da cianobactéria *Gloeotrichia*, que ocorre em forma de grumos. Os grumos de *Gloeotrichia* observados na lagoa Sumidouro durante as amostragens indicam uma possível floração, o que justifica os elevados valores de concentração de clorofila *a* aferidos na mesma. Embora a *Gloeotrichia* tenha sido observada historicamente em lagos meso-eutróficos e eutróficos (Karlsson-Elfgren et al., 2003), densas florações foram recentemente encontradas em lagos oligo-mesotróficos nos Estados Unidos (Carey et al., 2008). As lagoas dos Mares e Olhos d'água apresentaram médias de biomassa ( $\sim 5 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em níveis, também, considerados mesotróficos (Reynolds, 1980).

Os grupos funcionais associados a ambientes eutróficos, J, P, X1 e TC (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009) correlacionam-se positivamente com N-total, P-total,  $\text{PO}_4\text{-P}$  e IET, assim como a maior parte das amostras da lagoa Confins. Os grupos funcionais analisados associados a ambientes oligo-mesotróficos, NA e E correlacionam-se negativamente com as mesmas variáveis. Assim, a ordenação dos grupos funcionais fitoplanctônicos e das amostras é influenciada por sua afinidade aos nutrientes, clorofila *a* e IET.

Os grupos  $L_0$ , TD,  $T_C$  e F foram os que contribuíram com a maior biomassa total dentre todos os grupos funcionais. Segundo Reynolds et al. (2002) o grupo funcional  $L_0$  inclui os gêneros *Peridinium* e *Merismopedia*, espécies tolerantes a diferenciados níveis de nutrientes.

Os grupos TD e  $T_C$  foram bastante representativos na lagoa dos Mares, especialmente pela contribuição dos gêneros *Oedogonium* e *Lyngbya*, favorecidos pelos extensos bancos de macrófitas presentes neste ambiente. O grupo F apresentou maior contribuição de *Dictyosphaerium pulchellum*, espécie que persiste em baixos níveis de luz e explora condições nutricionais elevadas (Irfanullah & Moss, 2006).

Os grupos E e T apresentaram as maiores médias de biomassa, juntamente com o grupo  $L_0$  na lagoa Sumidouro. *Dinobryon divergens*, espécie descritora do grupo funcional E, é caracterizada por recorrer à mixotrofia (Reynolds et al., 2002), que aumenta o potencial competitivo da espécie em condições de limitação de luz, enquanto *Mougeotia* sp., espécie descritora do grupo T é reconhecida como resistente a baixa incidência de luz no corpo d'água (Reynolds et al., 2002). Os baixos valores de

transparência da água apresentados pela lagoa Sumidouro corroboram a representatividade destas espécies no ambiente.

A espécie descritora *Tetrastrum triangulare* foi a mais representativa do grupo funcional J, que apresentou as maiores médias de biomassa na lagoa Olhos d'água e é reconhecida como indicadora de águas eutrofizadas (Szelag-Wasielewska, 2007). Os demais gêneros representantes do grupo J, *Golenkinia*, *Scenedesmus*, *Coelastrum* e *Pediastrum* são ocorrentes em lagoas rasas e enriquecidas, como os ambientes investigados (Reynolds et al., 2002).

Os resultados obtidos evidenciaram uma significativa concordância entre grupos funcionais dominantes e as condições ambientais, particularmente o estado trófico, que podem ser observadas também na análise das espécies descritoras mais representativas. O uso das assembleias fitoplanctônicas demonstra ser, portanto, uma eficiente ferramenta na avaliação de estado trófico, no entanto, possuem limitações como quaisquer métodos de avaliação ambiental, como a necessidade do conhecimento taxonômico de especialistas.

### **Agradecimentos**

Agradecemos a equipe do laboratório de Limnologia ICB/ UFMG e Cristiane Barros pelas importantes contribuições durante a elaboração do trabalho.

## Referências

- Brasil, J. & Huszar, V. L. M., 2011. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Australis* 15: 799-834.
- Brasil. Resolução no. 357, de 17 de março de 2005 do Conselho nacional do Meio Ambiente. Diário oficial da União. Seção 1, no.53, 18 de março de 2005. p.58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res.35705.pdf>. Acesso em: 20 out. 2009.
- Carey, C. C., Weathers, K.C., Cottingham, K.L., 2008. *Gloeotrichia echinulata* blooms in an oligotrophic lake: helpful insights from eutrophic lakes. *Journal of Plankton Research* 30: 893-904.
- Carlson, R. E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361-369.
- Crossetti, L. O. & Bicudo, C. E. M., 2008. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (garças Pond): the assemblage index application. *Hydrobiology* 610:161-173.
- Golterman, H. L., Clymo, R. S. & Ohmstad, M. A. M., 1978. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Huszar, V. L. M., Silva, L. H. S., Domingos, P. & Marinho, M. & Melo, S., 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiology* 369/370:59-71.
- Irfanullah, H. M. & Moss, B., 2006. Ecology of *Dictyosphaerium pulchellum* Wood (Chlorophyta, Chlorococcales) in a shallow, acid, forest lake. *Aquatic Ecology* 40:1-12.
- Karlsson-Elfgren, I., Rydin, E., Hyenstrand, P., Pettersson, K., 2003. Recruitment and pelagic growth of *Gloeotrichia echinulata* (Cyanophyceae) in Lake Erken. *Journal Phycology* 39: 1050-1056.
- Lamparelli, M. C., 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado em Ciências.
- Lorenzen, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrofotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343.
- Lund, J. W. G., Kipling, C. & Lecren, E. D., 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia* 11:143-170.
- Mackeret, F. J. H., Heron, J. F. and Talling, J. F., 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. (Freshwater Biological Association Scientific Publication 39). Titus Wilson & Son Ltd., Kendall.
- Organization for Economic Co-Operation and Development – OECD, 1982. *Eutrofication of waters. Monitoring, assessment and control*. OECD, Paris.

- Padisák, J., Crossetti, L. O. & Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.
- Patrus, M. L. R. A., 1998. Relatórios temáticos do Zoneamento da APA Carste de Lagoa Santa – Estudos hidrológicos e qualidade das águas de superfície. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM.
- Reynolds, C. S., 1980. Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake ecosystems. *Holarctic Ecology* 3: 141-159.
- Reynolds, C. S., 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370: 11-26.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. & Melo, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research* 24: 417-428.
- Salas, H. J. & Martino, P., 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research* 25: 341-350.
- Szelag-Wasielewska, E., 2007. Trophic state assessment based on late summer phytoplankton community structure: a case study for epilimnetic lake water. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology* XXXVI: 53-63.
- Toledo, A. P., Talarico, M., Chinez, S. J. & Agudo, E. G., 1983. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização de lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1983. Anais do congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Camboriú, Brazil: UFSC.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitative phytoplankton-methodik. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 9:1-38.

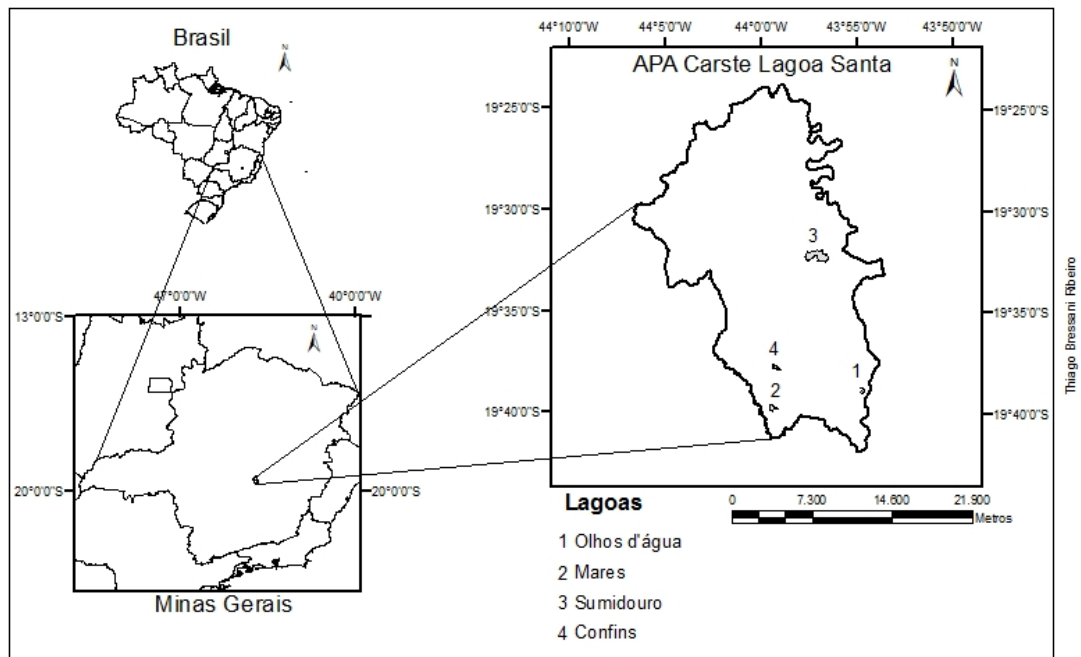
**Figuras e Tabelas**

Figura 1. Localização das lagoas selecionadas para este estudo na APA Carste de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil).

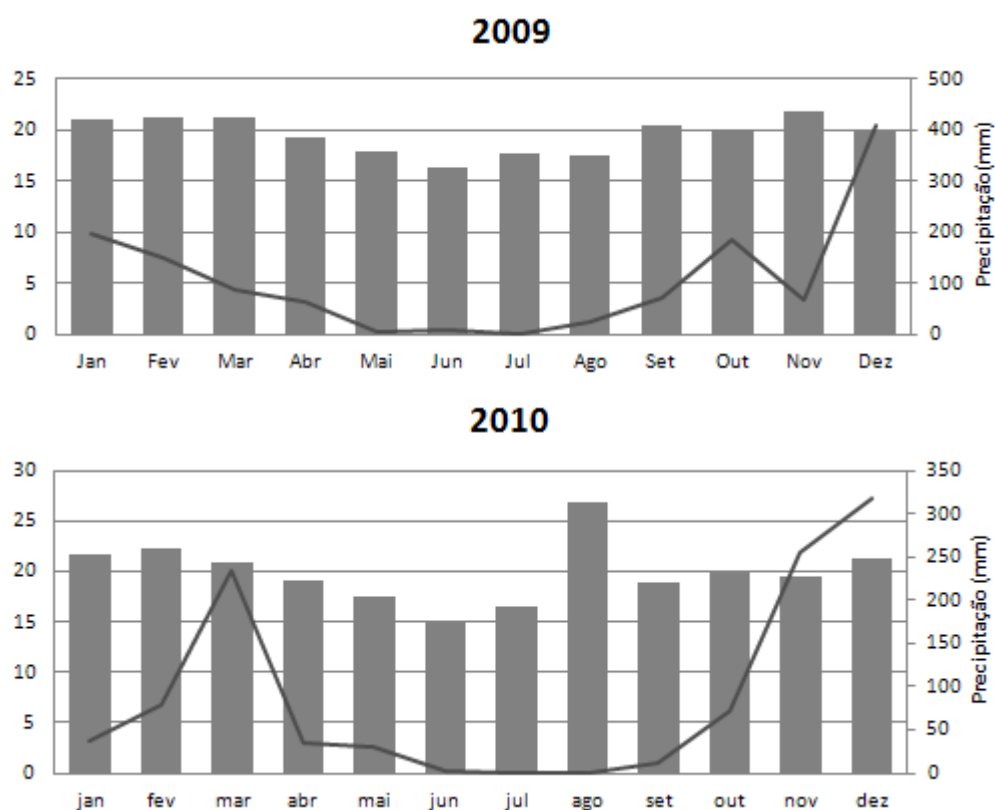


Figura 2. Variação mensal da temperatura média do ar e da precipitação média (linha) nos meses de janeiro a dezembro. Dados médios obtidos da estação climatológica do município de Confins (Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Confins – DTCEA – CF), nos anos de 2009 e 2010.

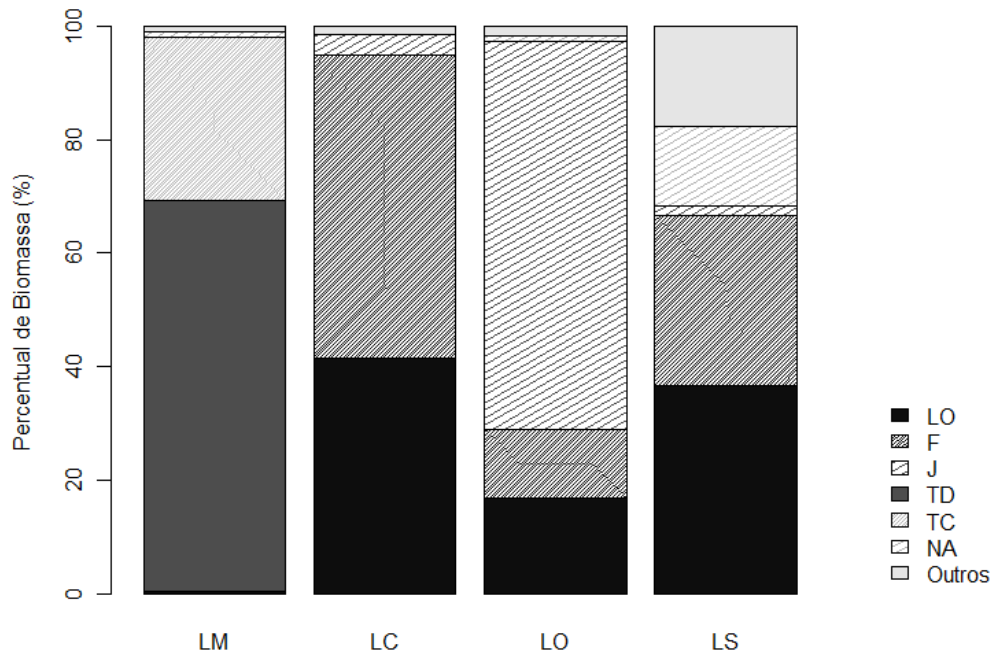


Figura 3. Contribuição dos principais grupos funcionais fitoplanctônicos das lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS) no período de 2009 e 2010.





Tabela 1. Medidas descritivas de transparência da água (disco de Secchi), nutrientes e clorofila *a* entre as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010. E.P (Erro Padrão): desvio padrão da média; N: número de amostras realizadas em cada lagoa (2 estações, 2 anos, 2 pontos de coleta).

Variáveis	Lagoas	N	Média	E.P
Transparência da água (m)	LC	8	0,70	0,05
	LM	8	1,70	0,34
	LO	8	0,89	0,08
	LS	8	0,71	0,21
N-total (µg/L)	LC	8	846,86	149,95
	LM	8	342,51	59,24
	LO	8	738,96	106,45
	LS	8	338,94	60,65
PO <sub>4</sub> -P (µg/L)	LC	8	2,47	0,63
	LM	8	0,70	0,18
	LO	8	2,73	1,04
	LS	8	1,74	0,40
P-total (µg/L)	LC	8	99,00	11,66
	LM	8	52,25	13,49
	LO	8	61,33	12,32
	LS	8	46,08	8,89
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	LC	8	16,71	4,20
	LM	8	3,88	1,38
	LO	8	5,58	1,51
	LS	8	10,02	1,97

Tabela 2. Teste de comparações múltiplas de transparência da água (disco de Secchi), nutrientes, clorofila *a* e índice de estado trófico proposto por Salas e Martino (1991) entre as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de chuva e seca de 2009 e 2010.

Parâmetros	LM - LC	LO - LC	LS - LC	LO - LM	LS - LM	LS - LO
Transparência da água (m)	<b>0,024</b>	0,067	0,930	0,055	<b>0,017</b>	0,433
N-total (µg/L)	<b>0,036</b>	0,999	<b>0,031</b>	0,056	1,000	<b>0,049</b>
PO <sub>4</sub> -P (µg/L)	<b>0,009</b>	0,993	0,806	<b>0,028</b>	0,160	0,924
P-total (µg/L)	<b>0,041</b>	0,128	<b>0,017</b>	0,946	0,982	0,794
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	<b>0,013</b>	0,100	0,840	0,914	0,157	0,495
Índice Salas e Martino (1991)	<b>0,035</b>	0,051	0,077	0,994	0,956	0,993

Diferença significativa  $p < 0,05$

Tabela 3. Classificação de estado trófico segundo o sistema proposto por Salas e Martino (1991) para as lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS). (Região limnética/médias dos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010).

Lagoa	P- total (µg/L)	Categoria Trófica
Salas e Martino (1991)		
LM/2009	35,76	Mesotrófico
LM/2010	47,65	Mesotrófico
LC/2009	94,92	Eutrófico
LC/2010	99,57	Eutrófico
LS/2009	60,78	Mesotrófico
LS/2010	39,64	Mesotrófico
LO/2009	64,07	Mesotrófico
LO/2010	27,71	Mesotrófico

Tabela 4. Espécies fitoplanctônicas descritoras (>5% da biomassa total), contribuição destas nos seus respectivos grupos funcionais, classes taxonômicas, grupos funcionais (GF) e indicação do estado trófico em que ocorrem segundo Reynolds et al. (2002) e Padišák et al. (2009) para as lagoas Mares (LM), Confins (LC), Sumidouro (LS) e Olhos d'Água (LO) no período de 2009 e 2010.

Espécie	Classe taxonômica	GF	Estado trófico	Lagoas
<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>hispida</i> (Perty) F. Stein (56,6%)	Euglenophyceae	W2	Meso-eutrófico	LM, LO
<i>Trachelomonas armata</i> var. <i>armata</i> (Ehrenberg) F. Stein (9,7%)	Euglenophyceae	W2	Meso-eutrófico	LM
<i>Trachelomonas robusta</i> Svirenko (5,6%)	Euglenophyceae	W2	Meso-eutrófico	LM
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg (28,1%)	Euglenophyceae	W2	Meso-eutrófico	LM, LO
<i>Euglena acus</i> (O.F. Müller) Ehrenberg (4,9%)	Euglenophyceae	W1	?	LO
<i>Lepocinclis ovum</i> (Ehrenberg) Lemmermann (95,1%)	Euglenophyceae	W1	?	LM, LC, LO, LS
<i>Peridinium gatunense</i> Nygaard (9,7%)	Dinophyceae	L <sub>o</sub>	Oligo-eutrófico	LM, LO, LS
<i>Peridinium pusillum</i> (Pénard) Lemmermann (8,3%)	Dinophyceae	L <sub>o</sub>	Oligo-eutrófico	LM, LC, LO, LS
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann (81,7%)	Cyanobacteria	L <sub>o</sub>	Oligo-eutrófico	LC
<i>Peridinium umbonatum</i> F. Stein (0,3%)	Dinophyceae	L <sub>o</sub>	Oligo-eutrófico	LS
<i>Cyanogranis ferruginea</i> (F. Wawrik) Hindák (100%)	Cyanobacteria	K	?	LO, LS
<i>Cosmarium</i> sp.1 (3,9%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LO
<i>Cosmarium ornatum</i> Ralfs ex Ralfs (2,8%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LM
<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) W. Archer (9,4%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LS
<i>Cosmarium contractum</i> O. Kirchner (6,7%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LO
<i>Staurastrum orbiculare</i> Meneghini ex Ralfs (37,1%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LM, LS
<i>Staurastrum smithii</i> Teiling (0,9%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LO
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs (39,2%)	Zygnemaphyceae	N <sub>A</sub>	Oligo-mesotrófico	LS
<i>Mougeotia</i> sp. (100%)	Zygnemaphyceae	T	?	LO, LS
<i>Oedogonium</i> sp.1 (9,9%)	Oedogoniophyceae	T <sub>D</sub>	Mesotrófico	LM
<i>Oedogonium</i> sp.2 (90,1%)	Oedogoniophyceae	T <sub>D</sub>	Mesotrófico	LM
<i>Cryptomonas</i> sp. (100%)	Cryptophyceae	Y	?	LM, LC, LO, LS
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat (0,3%)	Chlorophyceae	J	Eutrófico	LS
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat (17,6%)	Chlorophyceae	J	Eutrófico	LC

<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A. Dangeard) Senn (18,5%)	Chlorophyceae	J	Eutrófico	LC, LO
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen (0,1%)	Chlorophyceae	J	Eutrófico	LC
<i>Tetrastrum triangulare</i> (Chodat) Komárek (63,5%)	Chlorophyceae	J	Eutrófico	LO
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing (0,2%)	Chlorophyceae	F	Meso-eutrófico	LM, LS
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (0,1%)	Chlorophyceae	F	Meso-eutrófico	LC, LO
<i>Oocystis</i> sp. (1,3%)	Chlorophyceae	F	Meso-eutrófico	LC, LO, LS
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood (98,4%)	Chlorophyceae	F	Meso-eutrófico	LC, LO, LS
<i>Ankistrodesmus</i> sp. (9,7%)	Chlorophyceae	X1	Eu-hipereutrófico	LO
<i>Tetraplektron torsum</i> (W.B. Turner) Dedusenko-Shchegoleva (90,3%)	Xanthophyceae	X1	Eu-hipereutrófico	LM, LC
<i>Amphora copulata</i> (kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald (31,8%)	Bacillariophyceae	MP	?	LC
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg (17,6%)	Bacillariophyceae	MP	?	LS
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère (50,6%)	Coscinodiscophyceae	MP	?	LO, LM, LS
<i>Lyngbya</i> sp (100%)	Cyanobacteria	T <sub>c</sub>	Eutrófico	LM
<i>Closterium acutum</i> Brébisson (91,6%)	Zygnemaphyceae	P	Eutrófico	LO
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen (8,4%)	Coscinodiscophyceae	P	Eutrófico	LS
<i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof (100%)	Chrysophyceae	E	Oligotrófico	LM, LO, LS

? Sem menção sobre o grau de trofia em Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009).

## Capítulo 3

Potencial de eutrofização de lagos: uma análise combinada do estado trófico,  
morfologia, uso e ocupação do solo

Silvino, R. F. & Barbosa, F. A. R.

Artigo a ser submetido à revista *Brazilian Journal of Biology*.

**Potencial de eutrofização de lagos: uma análise combinada do estado trófico,  
morfologia, uso e ocupação do solo**

**Título abreviado: Potencial de eutrofização de lagos**

Silvino, R. F. & Barbosa, F. A. R.\*

Laboratório de Limnologia, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências  
Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627,  
Pampulha, 30161-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

\*e-mail: [barbosa@icb.ufmg.br](mailto:barbosa@icb.ufmg.br)

(With 2 figures)

## **Abstract**

Lake Sumidouro, although included in the environmental protection area, is impacted by human occupation, with considerable risks to its ecological integrity. This study aimed to discuss the commonly accepted trophic classification enhanced by the analysis of the relation of morphometric and limnological parameters, land use and occupation in the basin and estimation of the potential for eutrophication. Limnological parameters, reporting of land uses and occupation and morphometric data were measured in Lake Sumidouro during the rainy and dry seasons (2009 and 2010). Lake Sumidouro was classified as oligotrophic to supereutrophic in the different analyzed trophic systems. It also had the highest concentration of nutrients during the rainy season, revealing the highest input. The anthropized areas total about 62.9% of Lake Sumidouro basin, standing out the pastures and urban areas. The total phosphorus loading estimative in this environment was 15.824,3 kgP/year. In order to keep the mesotrophica condition, this load should be reduced by 29.39%. Compared to the simply trophic state identification, the association of the trophic state classification with the morphology analysis of the lake, land use and occupation in the basin and potential contribution of phosphorus provides a better indication for management procedures which aspire at the recovery and conservation, since it reflects the vulnerability of eutrophication in the environment.

**Keywords:** water quality, trophic indices, phosphorous, recovery, conservation.

## **Potencial de eutrofização de lagos: uma análise combinada do estado trófico, morfologia, uso e ocupação do solo**

### **Resumo**

A lagoa Sumidouro, apesar de incluída em área protegida, é impactada pela ocupação antrópica com riscos consideráveis à sua integridade ecológica. Este trabalho teve como objetivo discutir a classificação trófica comumente aceita reforçada com a análise da relação de parâmetros morfométricos e limnológicos, dos usos e ocupação do solo na bacia e cálculo do potencial de eutrofização. Parâmetros limnológicos, levantamentos dos usos e ocupação do solo e dados morfométricos da lagoa Sumidouro foram medidos nos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010. A lagoa Sumidouro foi classificada de oligotrófica a supereutrófica nos diferentes sistemas de classificação de estado trófico utilizados e apresentou as maiores concentrações de nutrientes durante os períodos de chuvas demonstrando os maiores aportes. As áreas antropizadas totalizam 62,9% da área da bacia hidrográfica da lagoa Sumidouro, destacando-se pastagens e área urbana. A estimativa da carga total afluyente de fósforo neste ambiente foi de 15.824,3 kgP/ano. Para manter uma condição de mesotrofia esta carga terá de ser reduzida em 29,39%. A associação da classificação do estado trófico com análises da morfologia do lago, usos e ocupação do solo da bacia e potencial de contribuição de fósforo fornece melhor indicação para ações de gestão visando a recuperação e conservação do que unicamente a identificação do estado trófico, uma vez que contempla a vulnerabilidade dos ambientes a eutrofização.

Palavras-chave: qualidade da água, índices tróficos, fósforo, recuperação e conservação.



## 1. Introdução

A determinação de estado trófico, estágio de eutrofização em que se encontra um corpo d'água, tem sido associada à pesquisa no controle da eutrofização cultural de lagos, focalizando mais variáveis que estão direta ou indiretamente relacionadas à produtividade primária (algas, cianobactérias e plantas aquáticas) (Dodds e Cole, 2007).

Sistemas para classificação trófica inicialmente foram desenvolvidos para ambientes temperados, como o de Carlson (1977) e o proposto pela OECD (1982). Na tentativa de avaliar os ambientes tropicais quanto à eutrofização foram desenvolvidos índices, os quais consideram as particularidades destes ecossistemas. O índice de Toledo et al. (1983) foi elaborado de maneira semelhante ao de Carlson (1977), no entanto é ponderado de forma a dar menor peso à variável transparência da água, já que esta é diretamente afetada pela elevada turbidez das águas tropicais na maior parte do ano. Salas e Martino (1991) realizaram um estudo a partir do qual propõem um modelo trófico simplificado para fósforo e mais recentemente Lamparelli (2004) propôs um índice modificado a partir de Carlson (1977).

Segundo Dodds e Cole (2007), uma referência da classificação de estado trófico oferece noções básicas para medir a integridade biótica, monitorar influências humanas e direcionar planos de restauração. Entretanto, Rast e Thornton (1996) afirmam que, quando termos como 'oligotrófico', 'mesotrófico' e 'eutrófico' são utilizados de forma descritiva, são em grande parte de natureza subjetiva, já que existem diferenças na percepção da classificação trófica.

A eutrofização é influenciada por fatores antrópicos e naturais (Liu et al., 2010) e cada vez mais estudos são dirigidos para uma análise mais ampla de lagos e reservatórios ameaçados por este problema ambiental, que envolve não somente

parâmetros físicos e químicos, mas a relação destes com aspectos morfológicos e de uso e ocupação do solo (Nõges et al., 2003; Fraterrigo e Downing, 2008; Taranu e Gregory-Eaves, 2008; Nõges, 2009; Liu et al., 2010). Parâmetros morfológicos como profundidade e volume do lago são indicados como significativamente relacionados com a concentração de nutrientes ou estado de eutrofização (Armengol e Miracle, 1999; Hamilton et al., 2001; Taranu e Gregory-Eaves, 2008; Liu et al., 2010). É amplamente aceito que quaisquer mudanças no uso do solo terão impacto direto na quantidade e qualidade da água (Goonetilleke et al., 2005). Bacias hidrográficas dominadas por terras agrícolas ou urbanizadas exportam taxas de nutrientes mais elevadas para os corpos d'água do que bacias não perturbadas. Assim, o uso do solo está diretamente relacionado com o aporte de nutrientes para os corpos d'água (Arbuckle e Downing, 2001; Knoll et al., 2003; Sand-Jensen e Staehr, 2007; Taranu e Gregory-Eaves, 2008).

Propõe-se, neste estudo, discutir a classificação trófica comumente aceita, reforçada com a análise da relação de parâmetros morfométricos e limnológicos, avaliação dos usos e ocupação do solo na bacia e cálculo do potencial de eutrofização na lagoa Sumidouro, Minas Gerais, Brasil.

A premissa é que a análise conjunta de dados limnológicos, do estado trófico, da morfologia do lago, usos e ocupação da bacia e potencial de contribuição de fósforo, permite uma avaliação mais precisa do estado ambiental e da vulnerabilidade dos ambientes à eutrofização, além de oferecer melhores subsídios para a adoção de medidas de recuperação e conservação.

## 2. Materiais e métodos

### Área de estudo

A lagoa Sumidouro ( $19^{\circ}32'10''\text{S}$ ;  $43^{\circ}57'00''\text{W}$ ) está localizada na região central do estado de Minas Gerais dentro dos limites de uma unidade de conservação integral, o Parque Estadual do Sumidouro (Fig.1). A lagoa constitui o maior corpo hídrico lântico de origem cárstica de toda a região, situada a uma altitude de 650 m e circundada ao norte pelo distrito de Fidalgo pertencente ao município de Pedro Leopoldo, e ao sul por florestas estacionais semidecíduais e decíduais (mata seca), tipologias do bioma Mata Atlântica.

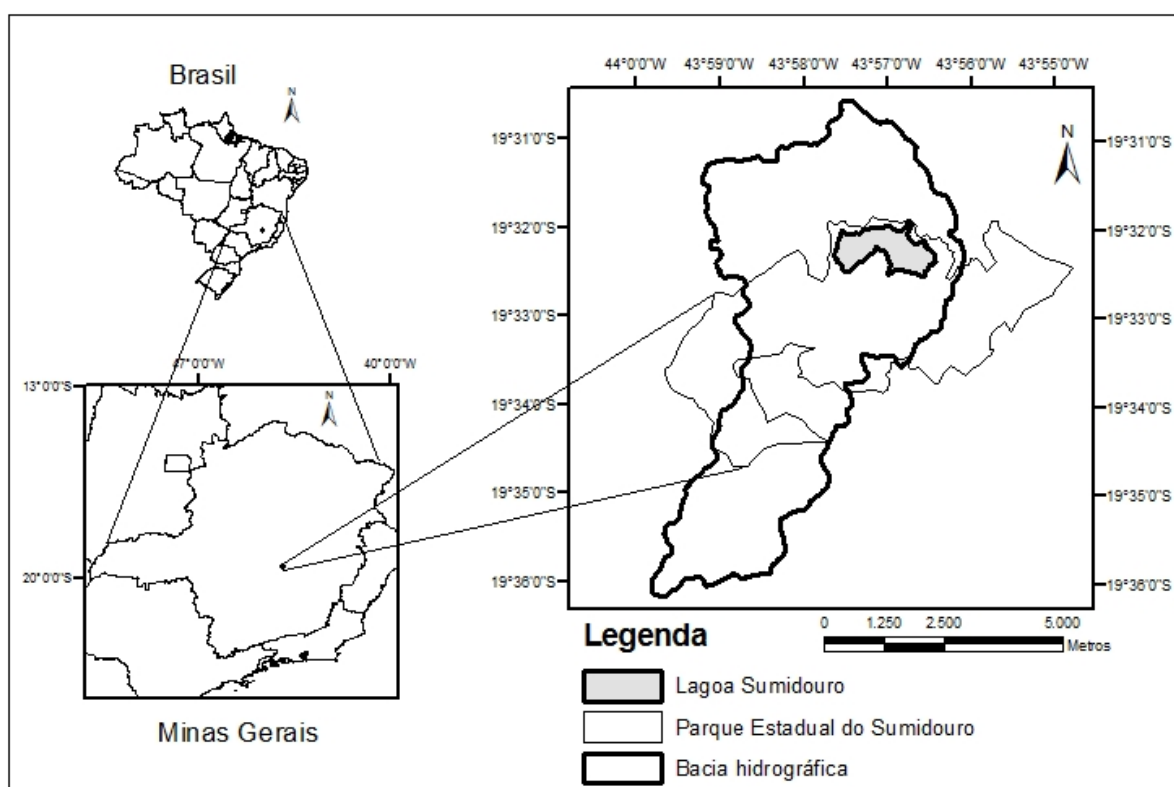


Figura 1: Localização da lagoa Sumidouro (Minas Gerais, Brasil). Em destaque os limites da bacia hidrográfica e do Parque Estadual do Sumidouro.

O clima da região, por meio da classificação climática de Köppen, pode ser definido como do tipo Aw, característico de regiões tropicais úmidas com inverno seco e verão chuvoso, apresentando temperatura média do mês mais frio superior a 18° C e precipitação anual média entre 1000 e 1500 mm (Patrus, 1998).

Embora localizada em uma unidade de conservação de uso sustentável, a Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, a bacia hidrográfica da lagoa Sumidouro por muito tempo sofreu consideráveis impactos das alterações na matriz de ocupação do solo. A deficiente infraestrutura de saneamento básico da região constitui um dos principais impactos atuais sobre a lagoa, que, associada à vulnerabilidade ambiental característica das regiões cársticas, tornam a recuperação bastante complexa.

#### *Dados limnológicos e grau de trofia*

Parâmetros limnológicos foram medidos nos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010, em dois pontos de amostragens (regiões limnética e litorânea). As amostragens foram realizadas em fevereiro e setembro de 2009 e março e julho de 2010 e medidos os parâmetros oxigênio dissolvido, pH e transparência da água. Amostras de água foram coletadas na subsuperfície (0,5 m) para análises de clorofila *a*, fósforo total (P-total), fósforo solúvel reativo (PO<sub>4</sub>-P), nitrogênio total (N-total), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), de acordo com Lorenzen (1967), Koroleff (1976), Golterman et al. (1978), Mackeret et al. (1978), respectivamente. O grau de trofia foi avaliado através da observação dos limites para a classificação trófica de ambientes temperados estabelecidos por Carlson (1977) e pelo programa da OECD (1982), e de índices que consideram particularidades de ambientes tropicais, notadamente os índices de Carlson (1977), modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004).

### *Batimetria e parâmetros morfométricos da lagoa Sumidouro*

Para a caracterização morfométrica da lagoa Sumidouro foi realizado um levantamento batimétrico em abril de 2011, utilizando-se uma sonda Humminbird Piranha – 2XM. As medidas de profundidade foram tomadas em 21 transectos paralelos e perpendiculares ao eixo do maior comprimento da lagoa. A partir dos dados batimétricos foram obtidos os parâmetros morfométricos primários e secundários. A profundidade máxima e o volume total foram obtidos a partir dos perfis batimétricos gerados. A área da lagoa, bem como sua área de contribuição superficial, o perímetro, o comprimento máximo e a largura máxima foram determinados a partir de medições realizadas com o programa ArcGIS 9.3 ® (ESRI Inc.), utilizando-se imagens do satélite Landsat – 5. Os parâmetros secundários profundidade média, profundidade relativa, desenvolvimento do perímetro e desenvolvimento do volume foram calculados de acordo com Wetzel (2001). A partir de uma série histórica de imagens do satélite Landsat-5 fornecidas pelo INPE e dados de profundidade coletados nas estações de chuva e seca dos anos de 2009 e 2010 foram elaboradas as cartas batimétricas e obtidos os parâmetros morfométricos primários e secundários para estes quatro períodos.

### *Uso e ocupação do solo da bacia da lagoa Sumidouro*

Para o levantamento do uso e ocupação do solo foi realizada a interpretação visual e/ou digital de imagens de satélite datadas de agosto de 2010, com posterior conferência de campo dos padrões de interpretação. A seqüência metodológica abrangeu as etapas de seleção das imagens, montagens de composições coloridas e da base cartográfica, georreferenciamento das imagens a partir da base cartográfica, processamento digital das imagens, interpretação e quantificação das classes de uso e análise qualitativa dos resultados.

### *Estimativa da carga máxima de fósforo*

O cálculo para esta estimativa considera que diferentes usos do solo liberam diferentes concentrações de fósforo para a água e atribui quantidades médias de fósforo para cada um dos usos por unidade de área e população humana existente. Assim as concentrações de fósforo foram baseadas nas estimativas populacionais apresentadas pelo IBGE (2010) e nas estimativas teóricas das cargas externas de fósforo propostas por Salas e Martino (1991).

A estimativa da carga de fósforo afluente a lagoa oriunda de esgotos domésticos brutos foi obtida adotando-se uma contribuição de 1 kgP/hab.ano (Salas e Martino, 2001). Para carga proveniente de bovinos, considerou-se a área de pastagem em uso na bacia da lagoa, a capacidade de suporte médio da pastagem da região (1,5 cabeças de gado por 0,01 Km<sup>2</sup>) (IMA, 2011) e a carga proveniente de bovinos de 7 kgP/animal.ano, de acordo com Salas e Martino (2001). A estimativa da concentração de fósforo na lagoa e carga afluente admissível foi obtida segundo Salas e Martino (1991). Foi utilizado um valor de 0,025mg/L de fósforo como abaixo do limite de eutrofia, de acordo com Vollenweider (1968) e também com o padrão de qualidade para concentração de fósforo total no país (Brasil, 2005), para águas doces enquadradas na classe 1, já que não são disponibilizados valores limites para a classe especial, enquadramento das águas presentes em unidades de conservação de proteção integral, caso da lagoa Sumidouro.

### *Análises estatísticas*

A tabela 1 resume as estatísticas dos parâmetros limnológicos e morfológicos da lagoa Sumidouro. Foi verificada a diferença estatística entre os anos, estações e pontos de coleta (limnética e litorânea) para as variáveis limnológicas e entre anos e estações para os parâmetros morfológicos da lagoa. O teste *t-student* foi utilizado para as

variáveis normalmente distribuídas e teste de Mann-Whitney para as variáveis que não apresentaram distribuição normal. Para verificar a normalidade foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. A relação dos parâmetros morfológicos e limnológicos foi obtida a partir do teste de Spearman. Foi realizada análise de componentes principais e verificada a relação dos conjuntos de variáveis (morfologia da lagoa e limnológico) levando em consideração as estações do ano (teste de Spearman). O software estatístico utilizado foi o R 2.11.0.

Tabela 1. Sumário das análises descritivas dos parâmetros limnológicos e morfométricos da lagoa Sumidouro nos anos de 2009 e 2010.

	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<b>Parâmetros limnológicos</b>					
Amônia ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	60,79	47,10	10,21	139,88
Nitrito ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	0,68	0,77	0,00	2,08
Nitrato ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	9,17	7,50	0,29	19,53
Nitrogênio total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	338,94	171,55	147,48	612,38
Ortofosfato ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	1,65	1,06	0,36	2,82
Fósforo total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	46,08	25,14	26,38	85,41
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	8	10,03	5,61	1,60	17,74
Oxigênio dissolvido ( $\text{mg l}^{-1}$ )	8	7,70	2,05	4,15	9,00
Ph	8	7,45	0,18	7,14	7,74
Transparência (Disco de secchi) (m)	8	0,75	0,58	0,25	1,75
<b>Parâmetros morfométricos</b>					
Profundidade máxima (m)	8	3,55	0,91	2,70	4,40
Profundidade média (m)	8	0,71	0,37	0,36	1,10
Volume ( $10^4 \text{ m}^3$ )	8	57,23	45,24	14,76	99,86
Área ( $\text{Km}^2$ )	8	0,68	0,30	0,39	1,04
Profundidade relativa (%)	8	0,39	0,02	0,36	0,42
Comprimento máximo (m)	8	1545,00	403,79	1164,00	1964,00
Largura máxima (m)	8	694,75	189,85	511,00	927,00

Perímetro (Km)	8	4,90	0,97	3,95	6,02
Desenvolvimento do volume	8	0,56	0,17	0,40	0,75
Desenvolvimento do perímetro	8	1,72	0,05	1,67	1,78

### 3. Resultados

#### *Estado trófico da lagoa Sumidouro*

Considerando que as classificações tróficas são feitas em bases anuais foram analisadas as médias dos períodos de chuva e seca dos anos de 2009 e 2010. A classificação eutrófica predominou no índice de Carlson (1977) e no sistema proposto pela OECD (1982). Ambos os modelos consideraram a lagoa Sumidouro mesotrófica no ano de 2010, quando utilizada a variável clorofila *a* como parâmetro de avaliação. O ambiente foi considerado hipereutrófico na análise da OECD (1982), que utiliza dos valores obtidos pelo disco de Secchi (Tab.2).

Os índices formulados para ambientes tropicais (Carlson, modificado por Toledo et al., 1983, Salas e Martino, 1991 e Carlson, modificado por Lamparelli, 2004) apresentaram resultados bastante discrepantes em relação à classificação trófica da lagoa Sumidouro, que de acordo com estes varia de oligotrófica a hipereutrófica (Tab.2).



Tabela 2. Classificação de estado trófico segundo os sistemas propostos por Carlson (1977), OECD (1982), Carlson, modificado por Toledo et al. (1983), Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) para a lagoa Sumidouro (médias dos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010).

Modelo/Índice Trófico	Ano	Valor	Classificação Trófica
Carlson (1977) PT ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	2009	59,55	Eutrófico
	2010	59,32	Eutrófico
Carlson (1977) Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	2009	56,57	Eutrófico
	2010	46,76	Mesotrófico
Carlson (1977) Secchi (m)	2009	59,29	Eutrófico
	2010	58,36	Eutrófico
OECD (1982) PT ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	2009	60,78	Eutrófico
	2010	39,64	Eutrófico
OECD (1982) Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	2009	14,16	Eutrófico
	2010	5,21	Mesotrófico
OECD (1982) Secchi (m)	2009	1,05	Hipereutrófico
	2010	1,12	Hipereutrófico
IET Carlson, modificado por Toledo et al. (1983)	2009	42,24	Oligotrófico
	2010	43,70	Oligotrófico
Salas e Martino (1991) PT ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	2009	60,78	Mesotrófico
	2010	39,64	Mesotrófico
IET Carlson, modificado por Lamparelli (2004)	2009	65,49	Supereutrófico
	2010	61,74	Eutrófico

#### *Dados limnológicos e morfométricos da lagoa Sumidouro*

Diferenças entre os parâmetros limnológicos nos períodos de seca e chuva não foram registradas ( $p \geq 0,05$ ), no entanto observa-se que a média de todas as variáveis foram maiores na estação chuvosa, com excessão do oxigênio dissolvido (Tab.3). Não foram identificadas diferenças significativas para os parâmetros limnológicos entre os pontos (região limnética e litorânea) e anos (2009 e 2010) amostrados ( $p \geq 0,05$ ), com

exceção da variável nitrito que apresentou maior média de concentração no ano de 2010 ( $p < 0,05$ ).

A resolução do CONAMA nº 357 de 2005 estabeleceu limites de qualidade hídrica para as águas doces do território brasileiro. As águas da lagoa Sumidouro apresentaram concentrações médias de fósforo total acima do estabelecido como limite ( $20 \mu\text{g l}^{-1}$ ) tanto na chuva ( $55,65 \mu\text{g l}^{-1}$ ) quanto na seca ( $36,51 \mu\text{g l}^{-1}$ ) para as águas enquadradas na classe 1 e, por consequência, para a classe especial (Brasil, 2005). A variável clorofila *a* também esteve acima do limite de  $10 \mu\text{g/L}^{-1}$  na estação chuvosa e fora do estabelecido para águas classe especial (Tab.3).

As variáveis morfológicas não apresentaram diferença significativa entre anos ( $p \geq 0,05$ ), mas foram diferentes estatisticamente entre estações ( $p < 0,05$ ), com maiores médias na estação chuvosa. Somente o desenvolvimento do perímetro foi maior na estação seca, quando ocorre uma maior irregularidade do contorno superficial do lago (Tab.3). A grande variação sazonal das variáveis morfológicas é típica dos ecossistemas aquáticos cársticos, que dependem do regime pluviométrico associado ao nível freático e aos sistemas de fluxo do aquífero cárstico, para sua conservação.

Tabela 3. Média dos parâmetros limnológicos e morfométricos no período de chuva e seca da lagoa Sumidouro nos anos de 2009 e 2010.

	Estação	Média	Erro Padrão	P-valor
Parâmetros limnológicos				
Amônia ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	74,02	22,23	0,4705
	Seca	47,56	26,14	
Nitrito ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	0,77	0,47	0,7652
	Seca	0,59	0,34	
Nitrato ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	9,45	4,32	0,9250
	Seca	8,89	3,76	
Nitrogênio total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	345,38	111,87	0,9254
	Seca	332,49	68,02	
Ortofosfato ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	2,10	0,45	0,2626
	Seca	1,20	0,56	
Fósforo total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	55,65	16,66	1,0000
	Seca	36,51	5,47	
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chuva	13,12	2,12	0,1283
	Seca	6,95	2,74	
Oxigênio dissolvido ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Chuva	6,61	1,27	0,1038
	Seca	8,80	0,21	
pH	Chuva	7,52	2,12	0,1283
	Seca	7,39	2,74	
Transparência (Disco de secchi) (m)	Chuva	1,09	0,34	0,0907
	Seca	0,41	0,06	
Parâmetros morfométricos				
Profundidade máxima (m)	Chuva	4,40	0,00	0,0290
	Seca	2,70	0,00	
Profundidade média (m)	Chuva	1,05	1,05	0,0290
	Seca	0,37	0,37	
Volume ( $10^4 \text{ m}^3$ )	Chuva	99,55	0,17	0,0290

	Seca	14,91	0,08	
Área (Km <sup>2</sup> )	Chuva	0,96	0,05	0,0290
	Seca	0,41	0,01	
Profundidade relativa (%)	Chuva	0,40	0,01	0,1140
	Seca	0,37	0,01	
Comprimento máximo (m)	Chuva	1921,50	24,54	0,0290
	Seca	1168,50	2,60	
Largura máxima (m)	Chuva	867,00	34,64	0,0290
	Seca	522,50	6,64	
Perímetro (Km)	Chuva	5,79	0,13	0,0290
	Seca	4,01	0,03	
Desenvolvimento do volume	Chuva	0,72	0,02	0,0290
	Seca	0,41	0,01	
Desenvolvimento do perímetro	Chuva	1,68	0,00	0,0290
	Seca	1,77	0,01	

A tabela 4 mostra as correlações significativas entre as variáveis limnológicas e morfológicas através do teste de Spearman. Os coeficientes de correlação maiores que 0,70 foram considerados significativos ao nível de 5% de significância.

Os resultados indicam que a variável clorofila *a* aumenta com o aumento das variáveis profundidade média, profundidade relativa e desenvolvimento do volume e que a transparência da água aumenta com o aumento da profundidade máxima, alterando, portanto, a biomassa fitoplanctônica (concentração de clorofila *a*) que é favorecida pela maior transparência da água. Por sua vez, a variável oxigênio dissolvido mostra uma correlação negativa com as variáveis volume, área, comprimento máximo, perímetro e desenvolvimento do perímetro.

Tabela 4. Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas e morfológicas utilizando o teste de Spearman. As correlações significativas ( $p < 0,05$ ) são mostradas em negrito.

Variáveis	Clorofila <i>a</i>	Oxigênio Dissolvido	Secchi
Profundidade máxima (Zmax)	0,655	-0,671	<b>0,697</b>
Profundidade média (Zmean)	<b>0,781</b>	-0,350	0,572
Volume (V)	0,390	<b>-0,850</b>	0,676
Área (A)	0,390	<b>-0,850</b>	0,676
Profundidade relativa (Zrel)	<b>0,772</b>	-0,079	0,411
Comprimento máximo (L)	0,390	<b>-0,850</b>	0,676
Largura máxima (W)	0,488	-0,650	0,624
Perímetro (P)	0,390	<b>-0,850</b>	0,676
Desenvolvimento do volume (Dv)	<b>0,781</b>	-0,350	0,572
Desenvolvimento do perímetro (Dp)	-0,390	<b>0,850</b>	-0,676

Por meio da análise de componentes principais foram avaliadas as principais tendências das 10 variáveis limnológicas, as quais explicam 60% da variabilidade total dos dados nas duas primeiras componentes principais. A separação das unidades de amostragem ocorreu em função da sazonalidade (Fig.2 a). Na estação seca concentram-se os maiores valores de nitrato e oxigênio dissolvido, enquanto na estação chuvosa associaram-se principalmente os maiores valores de clorofila *a*, pH, transparência da água e amônia.

A separação das unidades de amostragens também ocorreu em função da sazonalidade na análise das variáveis morfológicas que explicam 92,8% da variabilidade total dos dados na primeira componente principal (Fig.2 b). A estação chuvosa afeta o maior número de variáveis (profundidade máxima, profundidade média, volume, área, profundidade relativa, comprimento máximo, largura máxima efetiva, perímetro e desenvolvimento do volume). Desta forma, os maiores valores de nutrientes

são detectados quando a lagoa adquire maiores volume, área e profundidade média, tendência esta também seguida pelo pH e a transparência da água.

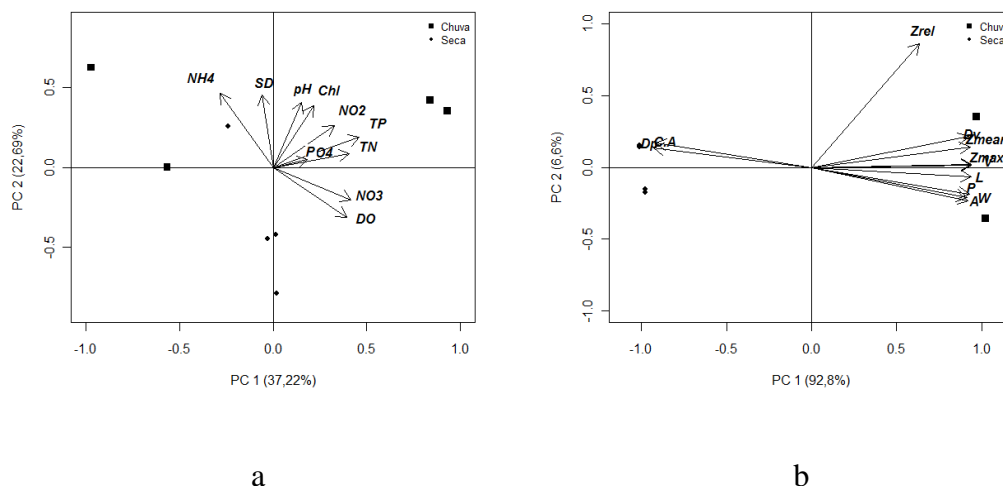


Figura 2. Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) das unidades de amostragens em função das variáveis limnológicas (a) e morfológicas (b) na lagoa, nos períodos de chuva e seca de 2009 e 2010. Onde: DO: Oxigênio Dissolvido; SD: Disco de Secchi; Chl: Clorofila a; TP: Fósforo Total, PO<sub>4</sub>: Fósforo solúvel reativo; NO<sub>3</sub>: Nitrato, NO<sub>2</sub>: Nitrito e NH<sub>4</sub>: Amônia. As abreviaturas dos parâmetros morfométricos são os mesmos da tabela 4.

#### *Uso e ocupação do solo da bacia da lagoa Sumidouro e estimativa da carga máxima de fósforo*

A lagoa Sumidouro possui 32,3% da área da bacia recoberta com remanescentes de floresta estacional/cerrado e 4,78 % de corpos d'água. As áreas antropizadas totalizam 62,92% da área assim distribuídos: pastagem/campo (55,01%), área rural/urbana (6,66%), área agrícola (0,62%), mineração (0,4%) e piscicultura (0,23%) As atividades de piscicultura e mineração não foram consideradas devido à desativação da primeira e pela ausência de dados oriundos de carga de fósforo da segunda.

A bacia engloba dois distritos: Fidalgo, pertencente ao município de Pedro Leopoldo com 2.595 habitantes e Lapinha, pertencente à Lagoa Santa com 3.921 habitantes

(IBGE, 2010). O total de habitantes na bacia é, portanto, de 6.516 pessoas, que contribuem com uma carga de fósforo por meio dos esgotos, que são dispostos *in natura* nos cursos d'água ou em fossas negras (COPASA e CONCREMAT, 2010). O número de cabeças de gado na região é estimado em 1.282,5, já que a área de pastagem na bacia é de 8,55 km<sup>2</sup> e a capacidade de suporte médio da pastagem da região é de 1,5 cabeças de gado por 0,01 km<sup>2</sup> (IMA, 2011). As cargas de fósforo oriundas da drenagem das áreas de matas (104,8 kgP/ano), de uso agrícola (10 kgP/ano) e urbano (216 kgP/ano) somadas àquelas produzidas pela população humana e bovinos totalizam 15.824,3 kgP/ano.

Considerando o tempo de detenção hidráulica obtido pela razão volume ( $57,23 \cdot 10^4$  m<sup>3</sup>) e vazão afluyente (0,517 m<sup>3</sup>/s) como sendo de 12,8 dias, obtém-se uma estimativa do fósforo na lagoa de 0,035 mg/L, abaixo da média anual identificada no ambiente de 0,050 mg/L. Os dois valores estão na faixa de mesotrofia (0,028-0,072 mg/L) segundo Salas e Martino (2001). Para manter o ambiente nesta condição de mesotrofia deve-se reduzir a carga afluyente até um valor abaixo do limite de eutrofia. Assim, admitindo-se um valor de fósforo 0,025 mg/L como limite de mesotrofia a carga afluyente terá de ser reduzida de 15.824,3 kgP/ano para 11.173,29 kgP/ano, ou seja, uma redução de 29,39%.

#### **4. Discussão**

Como demonstrado, a lagoa Sumidouro apresentou diferentes níveis de trofia nos cinco sistemas de estado trófico utilizados. As discrepâncias se devem a razões tais como o índice de Carlson (1977) e o sistema de classificação proposto pela OECD (1982) serem dirigidos para uma classificação de trofia de ambientes temperados, que não se adequa a tropicais. Segundo Kitaka et al. (2002) concentrações de fósforo de 50 a 60 µg L<sup>-1</sup> tem sido sugeridas para ambientes meso-eutróficos, caso da lagoa Sumidouro

em época de chuva. Estes valores estão acima daqueles definidos para ambientes temperados de igual categoria. Semelhantemente, o modelo proposto pela OECD (1982) já considera eutrófico ambientes com concentrações de fósforo  $\geq 35 \mu\text{gL}^{-1}$ , valor este bem inferior aos limites propostos em sistemas tropicais para a mesma classificação trófica.

A utilização de diferentes parâmetros (fósforo total, clorofila *a*, transparência da água) contribui para uma discordância nos sistemas de classificação trófica, já que a degradação ambiental pode não afetar ou não transparecer em todas as condições ambientais. Um exemplo no presente trabalho é a condição mesotrófica da lagoa Sumidouro, segundo o índice de estado trófico de Salas e Martino (1991), que utiliza apenas do parâmetro fósforo total, e eutrófica a supereutrófica, segundo Carlson, modificado por Lamparelli (2004), que além do fósforo total utiliza clorofila *a*. O índice formulado por Lamparelli (2004) possui um conjunto de parâmetros que tende a elevar o grau de trofia dos ambientes e uma maior amplitude de classes tróficas, que segundo a autora permite separar ambientes com valores elevados de clorofila *a* e fósforo total. Assim pode não haver uma correspondência quanto à classificação trófica entre índices e a escolha de um destes pode gerar resultados que não retratam a situação ambiental do sistema investigado. Mercante e Tucci-Moura (1999) recomendam a aplicação cautelosa de tais índices e somente como um indicador do potencial do estado trófico.

A morfologia do lago e o uso e ocupação da bacia tem sido considerados na avaliação ambiental, principalmente no que tange a eutrofização cultural. O tamanho do lago e da bacia, por exemplo, são importantes aspectos, pois afetam o fluxo dos nutrientes tanto pelo escoamento superficial e entradas de águas subterrâneas, quanto pela ressuspensão de sedimentos induzida pelo vento (Nõges, 2009; Liu et al., 2010; Sheela et al., 2010). A lagoa Sumidouro apresentou as maiores concentrações de



nutrientes no período de chuvas, concomitante com os maiores valores das variáveis morfológicas, provavelmente devido ao maior aporte oriundo da bacia de drenagem. Assim, o fator diluição não foi determinante para o decréscimo das concentrações de nutrientes neste período. A variável clorofila *a* seguiu esta tendência e apresentou correlação positiva, também detectada por Liu et al. (2010), com a variável profundidade média, que aumenta a transparência da água.

Estas concentrações diminuíram no período de seca, provavelmente devido à diminuição do aporte de nutrientes da bacia de drenagem e sua assimilação pela comunidade de macrófitas, que cresce rapidamente neste período. Este fato é evidenciado pelo maior valor do desenvolvimento do perímetro em época de seca, já que a irregularidade das margens propicia o desenvolvimento de uma vegetação litorânea mais extensa. Desta forma, em época de seca, mesmo com um maior fator de envolvimento, relação entre a área da bacia hidrográfica da lagoa e a área da própria lagoa, foram registrados um decréscimo de nutrientes e um aumento do oxigênio dissolvido.

As mudanças de uso do solo e cobertura vegetal são determinadas por uma complexa interação de fatores ambientais e sócio-econômicos (Hietel et al., 2004). A este respeito Coutinho & Barbosa (1986) salientaram a importância dos impactos antrópicos e a necessidade do disciplinamento dos usos das águas das lagoas do carste e das atividades em suas bacias de drenagem. A lagoa Sumidouro constitui prioridade na região para implementação de ações de recuperação e conservação, tanto por estar presente em unidade de conservação de proteção integral (Parque Estadual do Sumidouro), quanto pela maior vulnerabilidade ambiental da drenagem cárstica.

A pastagem constitui o principal uso do solo na bacia da lagoa Sumidouro e, portanto, sua maior fonte de nutrientes. Parte da área de pastagem foi incorporada à área

do Parque Estadual do Sumidouro e constitui um resquício das áreas antropizadas. Apesar de serem áreas propensas a se converterem em vegetação natural através de processos de regeneração ou intervenções de replantio, é comum sua invasão por rebanhos bovinos e eqüinos demonstrando a deficiência de fiscalização. Além disto, o aporte de nutrientes de áreas urbanas para esta lagoa é significativo e oriundo em grande parte do córrego Samambaia, principal tributário da lagoa, que drena os distritos de Fidalgo e Lapinha, desprovidos de qualquer tratamento dos esgotos (COPASA e CONCREMAT, 2010). Desta forma, a lagoa Sumidouro é propensa a eutrofização, pois apesar de ter um tempo de residência curto (12,8 dias), que favorece a depuração das águas, o ambiente recebe um significativo aporte de fósforo, que em função da baixa profundidade é disponibilizado para a coluna d'água pela ressuspensão dos sedimentos.

Dentre os índices dirigidos para ambientes tropicais o de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) demonstrou ser inadequado para a lagoa Sumidouro, por não retratar sua real situação ambiental. Esta inadequação provavelmente se deve à utilização de um maior número de variáveis, incluindo a transparência da água, que não necessariamente são afetadas pela degradação ambiental do ambiente. Os índices de Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) demonstraram ser mais coerentes e passíveis de serem recomendados na avaliação ambiental da lagoa Sumidouro e das demais lagoas da região.

Em vista dos resultados obtidos, nossa conclusão é que o uso isolado de um determinado índice de estado trófico deve ser realizado com cautela, pois este pode não retratar a real condição ambiental do ambiente. Assim os índices de estado trófico devem ser objeto de uma análise conjunta com outros indicadores da qualidade ambiental, particularmente sua morfologia e uso e ocupação do solo da bacia.

A lagoa Sumidouro, por estar localizada em uma unidade de conservação de proteção integral, possui suas águas destinadas à preservação dos ambientes aquáticos e enquadradas na classe especial, no entanto, apresentou variáveis limnológicas acima dos limites da qualidade hídrica estabelecida. Desta forma o presente estudo demonstra a necessidade de ações urgentes, principalmente em relação ao cumprimento da ordenação do uso da terra na sua bacia, limitando ou proibindo atividades incompatíveis com a manutenção dos ecossistemas. São exemplos de tais ações urgentes, a coleta, tratamento e disposição final adequada do esgoto sanitário que aporta à lagoa, a fim de contemplar a redução necessária do aporte de fósforo para a manutenção do estado mesotrófico.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Prof. Marcelo de Ávila Chaves e Pedro Fialho Cordeiro pelo suporte nas análises morfométricas e de uso e ocupação do solo; a Jôse Lorena Guimarães da Silva e Thiago Bressani Ribeiro pelo auxílio no trabalho de campo e análises laboratoriais e ao Instituto Estadual de Florestas, em especial ao gerente do Parque Estadual do Sumidouro, Rogério Tavares de Oliveira, pelo apoio logístico nas áreas do Parque.

## Referências

ARBUCKLE, KE. and DOWNING, JA., 2001. The influence of watershed land use on lake N:P in a predominantly agricultural landscape. *Limnology and Oceanography*, vol. 46, no.4, p. 970-975.

ARMENGOL, X. and MIRACLE, MR., 1999. Zooplankton communities in doline lakes and pools, in relation to some bathymetric parameters and physical and chemical variables. *Journal of Plankton Research*, vol.21, no.12, p. 2245-2261.

Brasil. Resolução no. 357, de 17 de março de 2005 do Conselho nacional do Meio Ambiente. *Diário oficial da União*. Secção1, no.53, 18 de março de 2005. p.58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res.35705.pdf>. Acesso em: 20 out. 2009.

CARLSON, RE., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, vol.22, no.2, p.361-369.

CERVANTES-MARTÍNEZ, A. ELÍAS-GUTIÉRREZ, M. and SUÁREZ-MORALES E., 2002. Limnological and morphometrical data of eight karstic systems 'cenotes' of the Yucatan Peninsula, Mexico, during the dry season (February-may, 2001). *Hydrobiologia*, vol.482, p.167-177.

Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA e CONCREMAT, 2009. Programa de saneamento ambiental para a bacia do Ribeirão da mata. Relatório técnico gerencial. Disponível em: <<http://sites.google.com/site/ribeiraodamata/home/programa-de-saneamento-ambiental-rib-mata>.> Acesso em: ago.2010.

COUTINHO, ME., BARBOSA, FAR. 1986. Distribuição vertical de matéria orgânica, nitrogênio orgânico total, fósforo total e algumas formas iônicas dos sedimentos recentes de 3 lagos de Minas Gérias. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol.1, p.401-429.

DODDS, WK. and COLE, JJ., 2007. Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs. *Aquatic Sciences*, vol.69, p. 427-439.

FOURQUREAN, JW., JONES, RD. and ZIEMAN, JC., 1993. Processes influencing water column nutrient characteristics and phosphorus limitation of phytoplankton biomass in Florida Bay, FL, USA: Inferences from Spatial Distributions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.36, p. 295-314.

FRATERRIGO, JM. and DOWNING, JA., 2008. The influence of land use on lake nutrients varies with watershed transport capacity. *Ecosystems*, vol.11, p .1021-1034.

GOLTERMAN, HL., CLYMO, RS. and OHMSTAD, MAM., 1978. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. 2.ed. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications. 213p.

GOONETILLEKE, A., THOMAS, EC., GINN, SP. and GILBERT, D., 2005. Understanding the role of land use in urban storm water quality management. *Journal of Environmental Management*, vol. 74, no.1, p. 31-42.

HAMILTON, PB., GAJEWSSKI, K., ATKINSON, D.E. and LEAN, DRS., 2001. Physical and chemical limnology of 204 lakes from the Canadian Arctic Archipelago. *Hydrobiologia*, vol. 457, p. 133-148.

HIETEL, E., WALDHARDT, R. and OTTE, A., 2004. Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, vol. 19, p. 473-489.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010. Banco de dados do Censo Demográfico de 2010. SIDRA - Tabela 3107. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em 20 outubro 2011.

Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA, 2011. Serviço – Fale conosco - Consulta ao banco de dados. Disponível em: < <http://www.ima.mg.gov.br/> > Acesso em 01/11/2011.

KITAKA, N., HARPER, DM. and MAVUTI, KM., 2002. Phosphorus inputs to Lake Naivasha, Kenya, from its catchment and the trophic state of the lake. *Hydrobiologia*, vol. 488, p. 73-80.

KNOLL, LB., VANNI, MJ. and RENWICK, WH., 2003. Phytoplankton primary production and photosynthetic parameters in reservoirs along a gradient of watershed land use. *Limnology and Oceanography*, vol.48, no. 2, p. 608-617.

KOROLEFF, F., 1976. Determination of ammonia. In GRASSHOFF, K. *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie. p. 126–133.

LAMPARELLI, MC., 2004. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo: Universidade de São Paulo. 238p. Tese de Doutorado em Ciências.

LIU, W., ZHANG, Q. and LIU, G., 2010. Lake eutrophication associated with geographic location, lake morphology and climate in China. *Hydrobiologia*, vol. 644, p. 289-299.

LORENZEN, CJ., 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, vol. 12, p. 343.

MACKERET, FJH., HERON, JF. and TALLING, JF., 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. (Freshwater Biological Association Scientific Publication, 39). Titus Wilson & Son Ltd., Kendall, 117 p.

MERCANTE, C.T.J. e TUCCI-MOURA, A., 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicado a dois ambientes aquáticos subtropicais. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 11, no.1, p.1-14.

NÖGES, P., NÖGES, T., TUVIKENE, L., SMAL, H., LIGEZA, S., KORNIJÓW, R., PECZULA, W., BÉCARES, E., GARCIA-CRIADO, F., ALVAREZ-CARRERA, C., FRENANDEZ-ALAEZ, C., FERRIOL, C., MIRACLE, R.M., VICENTE, E., ROMO, S., DONK, EV., VAN DE BUND, W., JENSEN, JP., GROSS, EM., HANSSON, L., GYLLSTRÖN, M., NYKÄNEN, M., EYTO, E., IRVINE, K., STEPHEN, D., COLLINGS, S. and MOSS, B., 2003. Factors controlling hydrochemical and trophic state variables in 86 shallow lakes in Europe. *Hydrobiologia*, vol.506-509, p.51-58.

NÖGES, T., 2009. Relationship between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes. *Hydrobiologia*, vol.633, p.33-43.

Organization for Economic Co-Operation and Development – OECD, 1982. Eutrophication of waters. *Monitoring, assessment and control*. OECD, Paris, 154 p.

PATRUS, MLRA., 1998. Relatórios temáticos do Zoneamento da APA Carste de Lagoa Santa – Estudos hidrológicos e qualidade das águas de superfície. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 58 p.

RAST, W. and THORTON, JA., 1996. Trends in eutrophication research and control. *Hydrological Processes*, vol. 10, p. 295-313.

SALAS, HJ. and MARTINO, P., 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, vol.25, p.341-350.

SALAS, HJ., MARTINO, P., 2001. Metodologías simplificadas para evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. *Relatório CEPIS*, 2001. 60p.

SAND-JENSEN, K. and STAEHR, PA., 2007. Scaling of pelagic metabolism to size, trophy and forest cover in small Danish lakes. *Ecosystems*, vol.10, p.127-141.

SHEELA, AM., LETHA, J. and JOSEPH, S., 2010. Environmental status of a tropical lake system. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol.180, no. 1-4, p.427-429.

SMITH, VH., and SCHINDLER, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we GO from here? *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 24, no. 4, p.201-207.

TARANU, ZE. and GREGORY-EAVES, I., 2008. Quantifying relationships among phosphorous, agriculture, and lake depth at an inter-regional scale. *Ecosystems*, vol.11, p.715-725.

TOLEDO, AP., TALARICO, M., CHINEZ, SJ. and AGUDO, EG., 1983. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização de lagos e reservatórios tropicais. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*, 1983. Anais do congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Camburiú, Brazil: UFSC. p.1-34.

VOLLENWEIDER, RA., 1968. *Water management research. Scientific Fundamentals of eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication*. Paris: OECD, 192 p.

WETZEL, RG, 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 1006 p.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adequada escolha dos indicadores ambientais constitui uma das partes fundamentais da análise ambiental de um determinado sistema. Segundo a OECD um indicador deve ser representativo, de fácil compreensão e comparável; deve ser bem apoiado em termos técnicos e científicos e de consenso internacional; deve ser facilmente mensurável e passível de ser monitorizado regularmente a um custo não excessivo.

Dentre os índices de estado trófico dirigidos para ambientes tropicais o de Carlson, modificado por Toledo et al. (1983) demonstrou ser inadequado para os ambientes da região analisada, por não retratar a real situação ambiental. Esta inadequação provavelmente se deve à utilização de um maior número de variáveis, incluindo a transparência da água, que não necessariamente são afetadas pela degradação do ambiente. Os índices de Salas e Martino (1991) e Carlson, modificado por Lamparelli (2004) demonstraram ser mais coerentes e passíveis de serem recomendados na avaliação ambiental das lagoas da região do Carste de Lagoa Santa.

O COD demonstrou ser representativo, de fácil compreensão e comparável, especialmente devido à sua correlação com índices de estado trófico (Carlson, modificado por Toledo et al., 1983 e Lamparelli, 2004) e variáveis (transparência da água e clorofila *a*). Por se tratar de um único parâmetro, o COD constitui uma ferramenta prática para avaliações de curto prazo, no entanto, o seu uso é oneroso, cerca de 4 vezes o valor de variáveis (fósforo, clorofila *a*) utilizadas em análises tradicionais. A razão C:N demonstrou ser complementar a análise de COD e contribui para um melhor entendimento dos agentes estressores do ambiente.

Os grupos funcionais mostraram uma boa aplicação nos ambientes avaliados e são bastante apoiados em termos técnicos e científicos e de consenso internacional, no entanto, necessita do conhecimento taxonômico de especialistas.

A análise da relação de parâmetros morfométricos e limnológicos, dos usos e ocupação do solo na bacia e cálculo do potencial de eutrofização demonstraram ser bastante representativos e principalmente preditivos, apontando para as vulnerabilidades

ambientais dos ecossistemas analisados e contribuindo para medidas de planejamento e gestão.

Salienta-se que uma política de gestão e de ações ambientais para a conservação dos ecossistemas aquáticos da APA Carste de Lagoa Santa se faz urgente, principalmente devido a expansão da região metropolitana para o vetor norte. Esta expansão tem causado conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo e desarmonia nos setores de saneamento, particularmente o sistema dos esgotos sanitários dos municípios da APA, que é bastante precário, com predominância de sistemas de fossa, fator de grande poluição das águas do carste.

O quadro ambiental torna-se mais preocupante por se tratar de uma área cárstica, já que em função dos riscos de contaminação de sua drenagem subterrânea, poluentes podem infiltrar e atingir o lençol freático que exportará estes pelo sistema de drenagem da bacia, potencializando assim sua dispersão.

É notória a importância do Carste de Lagoa Santa, uma das regiões mais significativas em termos de paisagem cárstica carbonática e da história das ciências naturais do país. Dentre as feições de sua geomorfologia cárstica típica destacam-se as lagoas do presente estudo e grandes maciços rochosos. Associados a estes ambientes estão sítios paleontológicos de grande valor, com vestígios da ocupação humana pré-histórica no Brasil. O presente trabalho visou, não somente, avaliar o potencial de ferramentas na indicação do estado trófico e de qualidade ambiental dos ecossistemas lacustres da região, mas fundamentalmente alertar a sociedade e órgãos públicos quanto ao grau de ameaça ambiental a qual está submetido todo o Carste de Lagoa Santa.

## APÊNDICES

### *Referentes ao Capítulo 1*

Fórmulas dos índices de estado trófico utilizadas e limites determinados para as categorias tróficas.

- Carlson modificado por Toledo (1983):

$$\text{IET (DS)} = 10 \left( 6 - \frac{0,64 + \ln \text{DS}}{\ln 2} \right)$$

$$\ln 2$$

$$\text{IET (CHL)} = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln \text{CHL}}{\ln 2} \right)$$

$$\ln 2$$

$$\text{IET (PSR)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln(21,67 / \text{PSR})}{\ln 2} \right)$$

$$\ln 2$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln(80,32 / \text{PT})}{\ln 2} \right)$$

$$\ln 2$$

A equação utilizando a média ponderada, atribuindo-se menor valor para a profundidade de Secchi, proposta por Toledo (1983) é a seguinte:

$$\text{IET}_{\text{médio}} = \frac{\text{IET}(\text{DS}) + 2[ (\text{IET}(\text{PT}) + \text{IET}(\text{PSR} + \text{IET}(\text{CHL})) ]}{7}$$

$$7$$

Onde:

IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi.

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila *a*.

IET (PSR) = índice de estado trófico para o fósforo total.

IET (PT) = índice de estado trófico para o fósforo solúvel reativo.

Tabela 1. Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo Carlson, modificado por Toledo (1983) e Salas e Martino (2001).

Categorias Tróficas	IET	PT ( $\mu\text{g/L}$ )*
	Carlson, modificado por Toledo (1983)	Salas e Martino (2001)
Oligotrófico	$\text{IET} \leq 44$	$\leq 28$
Mesotrófico	$44 < \text{IET} < 54$	28-72
Eutrófico	$\text{IET} \geq 54$	$\geq 72$

\*Média anual da concentração de fósforo total.

- Carlson, modificado por Lamparelli (2004)

$$\text{IET (PT)} = 10 \{ 6 - [ 1,77 - 0,42 (\ln \text{PT}) / \ln 2 ] \}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \{ 6 - [ 0,92 - 0,34 (\ln \text{CL}) / \ln 2 ] \}$$

Onde:

CL = concentração de clorofila a, medida à superfície, em  $\mu\text{g/L}$ ;

PT = concentração de fósforo total, medida à superfície, em  $\mu\text{g/L}$ ;

ln = logaritmo natural.

$$\text{IET} = [ \text{IET (PT)} + \text{IET (CL)} ]$$

Tabela 2. Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo Carlson, modificado por Lamparelli (2004).

Categorias Tróficas	IET Carlson, modificado por Lamparelli (2004)
Ultraoligotrófico	$\leq 47$
Oligotrófico	$47 \leq \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 \leq \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 \leq \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 \leq \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	$> 67$

### Análises estatísticas

Tabela 3. Medidas descritivas e teste de normalidade para as variáveis, COD, Ln (COD) e índices.

Variáveis	N	Média	D.P	Mín.	Máx.	p-valor
Carbono (mg/L)	15	7,20	4,09	3,19	16,90	0,003
Ln (Carbono)	15	1,85	0,49	1,16	2,83	0,265
IET Toledo	16	42,17	6,91	24,16	51,58	0,080
IET Salas e Martino	16	58,77	33,15	6,15	117,79	0,505
IET Lamparelli	16	62,57	4,12	52,19	68,61	0,260

Tabela 4. Medidas descritivas do COD(mg/L) entre as lagoas, ano e estação.

Variáveis	N	Média	E.P	1ª Quartil	2ª Quartil	3ª Quartil	
Lagoas	LC	4	7,68	0,74	6,60	7,35	8,77
	LM	4	4,93	0,98	3,23	4,90	6,63
	LO	4	5,13	0,52	4,26	5,01	6,00
	LS	3	12,35	3,97	10,07	15,70	16,30
Ano	2009	8	9,02	1,68	6,10	6,78	12,69
	2010	7	5,11	0,67	3,81	4,44	6,35
Estação	Chuva	8	7,25	1,47	5,05	6,53	7,35
	Seca	7	7,14	1,64	4,26	6,34	8,11

Tabela 5. Análise de Variância para o ln (COD).

Fonte	G.L	SQT	SQM	F	P-valor
Lagoas	3	1,515	0,505	4,008	0,0458
Estação	1	0,003	0,003	0,021	0,8888
Ano	1	0,739	0,739	5,865	0,0385
Resíduos	9	1,134	0,126		

Tabela 6. Comparações múltiplas do ln (COD) entre as lagoas – Teste de Tukey.

LM-LC	LO-LC	LS-LC	LO-LM	LS-LM	LS-LO
0,2669	0,4165	0,6283	0,9839	0,0518	0,0912

Tabela 7. Medidas descritivas do IET Toledo entre as lagoas, ano e estação.

Variáveis	N	Média	E.P	1ª Quartil	2ª Quartil	3ª Quartil	
Lagoas	LC	4	49,88	0,64	49,09	49,73	50,67
	LM	4	34,71	3,54	30,61	37,84	38,82
	LO	4	42,11	1,23	40,09	41,98	44,13
	LS	4	42,01	2,60	38,92	40,77	45,10
Ano	2009	8	43,91	1,84	39,82	42,87	49,54
	2010	8	40,44	2,92	37,87	40,13	45,91
Estação	Chuva	8	40,23	2,87	37,09	40,19	46,70
	Seca	8	44,12	1,87	39,82	42,02	49,54

Tabela 8. Análise de Variância para o IET Toledo.

Fonte	G.L	SQT	SQM	F	P-valor
Lagoas	3	460,350	153,451	10,477	0,0020
Estação	1	60,410	60,412	4,125	0,0697
Ano	1	47,920	47,921	3,272	0,1006
Resíduos	10	146,470	14,647		

Tabela 9. Comparações múltiplas do IET Toledo entre as lagoas – Teste de Tukey.

LM-LC	LO-LC	LS-LC	LO-LM	LS-LM	LS-LO
0,0011	0,0673	0,0635	0,0838	0,0888	1,0000

Tabela 10. Medidas descritivas do IET Salas e Martino entre as lagoas, ano e estação.

Variáveis	N	Média	E.P	1ª Quartil	2ª Quartil	3ª Quartil	
Lagoas	LC	4	97,25	9,56	80,97	95,31	113,53
	LM	4	41,71	17,45	18,11	35,77	65,32
	LO	4	45,89	11,99	27,71	43,04	64,08
	LS	4	50,21	12,81	31,68	44,12	68,75
Ano	2009	8	63,89	9,94	38,81	64,08	83,00
	2010	8	53,65	13,72	24,09	43,27	85,26
Estação	Chuva	8	46,77	11,93	24,09	38,81	66,49
	Seca	8	70,76	10,54	43,27	78,56	87,29

Tabela 11. Análise de Variância para IET Salas e Martino.

Fonte	G.L	SQT	SQM	F	P-valor
Lagoas	3	8042,50	2680,83	4,686	0,0271
Estação	1	2301,80	2301,84	4,024	0,0727
Ano	1	419,30	419,33	0,733	0,4120
Resíduos	10	5720,70	572,07		

Tabela 12. Comparações múltiplas do IET Salas e Martino entre as lagoas – Teste de Tukey.

LM-LC	LO-LC	LS-LC	LO-LM	LS-LM	LS-LO
0,0350	0,0518	0,0777	0,9943	0,9566	0,9938



Tabela 13. Medidas descritivas do IET Lamparelli entre as lagoas, ano e estação.

Variáveis	N	Média	E.P	1ª Quartil	2ª Quartil	3ª Quartil	
Lagoas	LC	4	66,56	1,22	64,94	67,27	68,17
	LM	4	59,89	2,80	56,31	60,91	63,48
	LO	4	60,58	0,95	59,24	60,27	61,92
	LS	4	63,24	1,35	61,33	62,36	65,15
Ano	2009	8	62,67	1,17	60,13	62,24	65,15
	2010	8	62,46	1,78	60,94	62,32	66,18
Estação	Chuva	8	61,52	1,80	59,53	61,10	65,07
	Seca	8	63,61	1,00	61,28	63,19	66,18

Tabela 14. Análise de Variância para o IET Lamparelli.

Fonte	G.L	SQT	SQM	F	P-valor
Lagoas	3	109,913	36,638	2,885	0,0890
Estação	1	17,347	17,347	1,366	0,2696
Ano	1	0,185	0,185	0,015	0,9064
Resíduos	10	127,011	12,701		

*Referentes ao Capítulo 2*

Tabela 1. Valores de soma, médios, erro padrão, mínimos e máximos da biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) por grupo funcional, lagoa e estação. N=número de ocorrências das espécies descritoras nas amostras.

Variáveis	N	Soma	Média	E.P.	Mín.	Máx.
LO	25	84,28	3,371	2,313	0,066	57,770
F	13	57,47	4,421	3,587	0,000	47,146
J	17	38,78	2,281	0,935	0,001	12,105
TD	6	30,98	5,163	3,924	0,066	24,552
TC	2	4,23	2,114	1,633	0,481	3,747
NA	11	3,01	0,274	0,105	0,028	1,138
E	7	2,84	0,405	0,161	0,073	1,147
Grupos Funcionais W1	5	2,59	0,517	0,360	0,127	1,956
T	2	2,12	1,060	0,901	0,160	1,961
Y	12	1,66	0,138	0,037	0,019	0,484
X1	4	0,97	0,242	0,140	0,035	0,638
W2	8	0,97	0,121	0,025	0,054	0,269
MP	7	0,69	0,099	0,024	0,026	0,219
P	2	0,68	0,342	0,285	0,057	0,627
K	2	0,09	0,045	0,007	0,039	0,052
Confins	27	134,19	4,970	2,686	0,030	57,770
Lagoa Mares	30	37,50	1,250	0,823	0,019	24,552
Olhos	31	37,88	1,222	0,531	0,000	12,105
Sumidouro	35	21,74	0,621	0,187	0,024	6,154
Estação Chuva	66	113,19	1,715	0,801	0,001	47,146
Seca	57	118,10	2,072	1,053	0,000	57,770

Tabela 2. Lista de táxons fitoplanctônicos encontrados em cada classe taxonômica nas lagoas Confins (LC), Mares (LM), Olhos D'Água (LO) e Sumidouro (LS).

Classes	Táxons	LC	LM	LO	LS
Cyanophyceae	<i>Anabaena solitaria</i> Klebahn	X	X		X
	<i>Aphanizomenon</i> sp.				X
	<i>Aphanocapsa delicadissima</i> West & G.S. West	X	X	X	
	<i>Aphanocapsa elachista</i> West & G.S. West	X	X	X	
	<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	X			
	<i>Chroococcus</i> sp.			X	X
	<i>Coelomoron</i> sp.	X		X	X
	<i>Cyanogranis ferruginea</i> (F. Wawrik) Hindák	X	X	X	X
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju				
	<i>Cylindrospermopsis</i> sp.				X
	<i>Cylindrospermum</i> sp.	X		X	X
	<i>Geitlerinema</i> sp.	X	X		X
	<i>Gloeotrichia</i> sp.				X
	<i>Limnothrix</i> sp.	X			
	<i>Lyngbya hieronymusii</i> Lemmermann	X	X		
	<i>Lyngbya</i> sp.	X	X		X
	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	X		X	X
	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	X	X		
	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	X		X	X
<i>Nostoc</i> sp.	X	X		X	

	<i>Oscillatoria</i> sp.		X			
	<i>Planktolyngbya</i> sp.	X	X			
	<i>Planktothrix</i> sp.		X			
	Pseudanabaenaceae N.I.1	X	X			X
	<i>Pseudanabaena galeata</i> Böcher					X
	Pseudonabaenaceae N.I.2	X				
	<i>Scytonema</i> sp.	X	X			
	<i>Woronichinia</i> sp.	X	X	X		X
Chlamydoephycea	<i>Pleodorina</i> sp.		X			X
Chlorophyceae	<i>Actinastrum gracillimum</i> Smith					X
	<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	X	X			X
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs		X			
	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda ex Korshikov	X	X	X		X
	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmermann					X
	<i>Asterococcus</i> sp.		X			
	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	X	X	X		X
	<i>Botryococcus protuberans</i> West & G.S.West	X		X		X
	<i>Botryococcus terribilis</i> J.Komárek & P.Marvan	X	X	X		X
	<i>Centritactus belanophorus</i> Lemmermann	X				X
	Chlorophyceae N.I.1	X	X			X

Chlorophyceae N.I.2	X	X	X	X
Chlorophyceae N.I.3				X
Chlorophyceae N.I.4	X			X
Chlorophyceae N.I.5			X	
Chlorophyceae N.I.6	X			X
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov			X	X
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A. Dangeard) Senn	X	X	X	X
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli	X			
<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle	X			
<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Nägeli) Gay			X	X
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze	X	X	X	X
<i>Desmodesmus armatus</i> (R.Chodat) E.Hegewald	X		X	
<i>Desmodesmus communis</i> (E.H.Hegewald) E.H.Hegewald	X	X	X	X
<i>Desmodesmus</i> sp.	X	X		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	X	X	X	X
<i>Dimorphococcus lunatus</i> A.Braun				X
<i>Elakatothrix viridis</i> (J.Snow) Printz	X	X	X	X
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	X	X	X	X
<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin	X			X
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K.Möbius	X	X	X	X
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	X			
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret)	X	X	X	X

Komàrková-Legnerová

<i>Neglectella eremosphaerophila</i> Vodenicarov & Benderliev				X
<i>Nephrocytium allantoideum</i> Bohlin -			X	
<i>Nephrocytium lunatum</i> West	X	X	X	
<i>Oocystis marssonii</i> Lemmermann		X	X	
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	X	X		X
<i>Oocystis</i> sp.			X	X
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	X		X	X
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	X	X		X
<i>Polyedriopsis spinulosa</i> (Schmidle) Schmidle		X		
<i>Quadrigula lacustris</i> (Chodat) G.M.Smith			X	
<i>Quadrigula</i> sp.	X		X	
<i>Radiococcus planktonicus</i> J.W.G.Lund		X	X	X
<i>Radiocystis</i> sp.	X			
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	X		X	X
<i>Scenedesmus disciformis</i> (Chodat) Fott & Komárek	X			X
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	X	X	X	X
<i>Scenedesmus securiformis</i> Playfair				X
<i>Scenedesmus</i> sp.				X
<i>Scenedesmus tetradesmiformis</i> (Wolosz.) Chodat				X
<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch	X	X		
<i>Sorastrum spinulosum</i> Nägeli	X		X	X
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	X	X	X	X

	<i>Stigeoclonium</i> sp.	X			
	<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansgirg	X		X	
	<i>Tetraedron gracile</i> (Reinsch) Hansgirg				
	<i>Tetraedron quadratum</i> (Reinsch) Hansgirg	X		X	
	<i>Tetraedron regulare</i> Kützing		X	X	X
	<i>Tetraedron trigonum</i> (Nägeli) Hansgirg	X			
	<i>Tetraedron victorieae</i> Smith	X	X	X	
	<i>Tetrallantos lagerheimii</i> Teiling	X		X	X
	<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair	X		X	
	<i>Tetrastrum triangulare</i> (Chodat) Komárek			X	
Zygnemaphyceae	<i>Bambusina brebisson</i> Kützing ex Kützing	X	X		X
	<i>Closterium acutum</i> Brébisson	X	X	X	X
	<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs		X		X
	<i>Closterium lineatum</i> Ehrenberg ex Ralfs			X	X
	<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs		X		
	<i>Closterium</i> sp.1		X		X
	<i>Closterium</i> sp.2		X	X	X
	<i>Closterium</i> sp.3	X			X
	<i>Closterium</i> sp.4	X	X	X	
	<i>Cosmarium amoenum</i> Brébisson ex Ralfs		X		

<i>Cosmarium lagoense</i> (Nordstedt) Nordstedt	X		X	X
<i>Cosmarium contractum</i> O. Kirchner	X	X	X	X
<i>Cosmarium monomazum</i> P.Lundell				X
<i>Cosmarium nitidulum</i> De Notaris				X
<i>Cosmarium ornatum</i> Ralfs ex Ralfs	X	X	X	X
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt	X			
<i>Cosmarium pseudopyramidatum</i> P.Lundell	X	X		X
<i>Cosmarium punctulatum</i> Brébisson	X			X
<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) W. Archer	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.1	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.2		X		
<i>Cosmarium</i> sp.3		X		X
<i>Cosmarium</i> sp.4		X		
<i>Cosmarium</i> sp.5	X			
<i>Cosmarium</i> sp.6	X		X	
<i>Desmidium</i> sp.		X		X
<i>Euastrum abruptum</i> Nordstedt	X	X		X
<i>Euastrum elegans</i> Ralfs	X	X	X	X
<i>Euastrum evolutum</i> (Nordstedt) West & G.S. West	X	X		X
<i>Genicularia spirotaenia</i> (De Bary) De Bary		X		
<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle	X	X		X
<i>Haplotaenium minutum</i> (Ralfs) T.Bando	X	X		
<i>Hyalotheca</i> sp.1		X		
<i>Hyalotheca</i> sp.2		X		



<i>Micrasterias crux-melitensis</i> Ralfs		X		
<i>Micrasterias oscitans</i> Ralfs	X	X		X
<i>Micrasterias pinnatifida</i>	X			
<i>Micrasterias torreyi</i> Bailey ex Ralfs	X			
<i>Micrasterias tropica</i> Nordstedt	X	X		
<i>Mougeotia</i> sp.1	X	X	X	X
<i>Mougeotia</i> sp.2		X	X	X
<i>Mougeotia</i> sp.3		X		
<i>Onychonema laeve</i> Nordstedt	X	X		X
<i>Pleurotaenium trabecula</i> (Ehrenberg) Nägeli	X	X		X
<i>Spirogyra</i> sp.1	X	X		X
<i>Spirogyra</i> sp.2		X		
<i>Spirogyra</i> sp.3				X
<i>Spondylosium</i> sp.	X			X
<i>Staurastrum cerastes</i> P.Lundell	X	X	X	X
<i>Staurastrum dejectum</i> Brébisson				X
<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs				X
<i>Staurastrum laeve</i> Ralfs				X
<i>Staurastrum leptocladum</i> L.N.Johnson	X	X	X	X
<i>Staurastrum minnesotense</i> F.Wolle				X
<i>Staurastrum muticum</i> Brébisson ex Ralfs				X
<i>Staurastrum orbiculare</i> Meneghini ex Ralfs	X	X		X
<i>Staurastrum ornatum</i> (Boldt) W.B.Turner		X		
<i>Staurastrum pseudotetracerum</i> (Nordstedt) West & G.S.West		X		X

	<i>Staurastrum quadrinotatum</i> R.L.Grönblad	X			
	<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	X	X		X
	<i>Staurastrum setigerum</i> Cleve	X	X		X
	<i>Staurastrum smithii</i> Teiling	X		X	X
	<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	X			X
	<i>Staurastrum trifidum</i> Nordstedt	X	X		X
	<i>Stauroidesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) S.Lilleroth	X	X	X	
	<i>Stauroidesmus cuspidatus</i> (Brébisson) Teiling	X	X		X
	<i>Stauroidesmus dejectus</i> (Brébisson) Teiling		X	X	
	<i>Stauroidesmus dickiei</i> (Ralfs) S.Lillieroth		X		X
	<i>Stauroidesmus jaculiferus</i> (West) Teiling				X
	<i>Stauroidesmus</i> sp.		X		
	<i>Stauroidesmus subulatus</i> (Kützing) Thomasson		X		
	<i>Xanthidium mammillosum</i> (R.L.Grönblad) K.Förster	X	X	X	
	<i>Zygnema</i> sp.				X
Oedogoniophyceae	<i>Bulbochaete</i> sp.	X	X		X
	<i>Oedogonium</i> sp.1	X	X	X	X
	<i>Oedogonium</i> sp.2	X	X		X
Euglenophyceae	<i>Euglena acus</i> (O.F. Müller)	X	X	X	X

	<i>Euglena ehrenbergii</i> Klebs		X	X	X
	<i>Euglena elastica</i> Prescott	X			
	<i>Euglena limnophila</i> Lemmermann			X	
	<i>Euglena oxyuris</i> Schmarda	X	X	X	
	<i>Euglena</i> sp.		X		
	<i>Lepocinclis fusiformis</i> (H.J.Carter) Lemmermann				X
	<i>Lepocinclis ovum</i> (Ehrenberg) Lemmermann	X	X	X	X
	<i>Phacus acuminatus</i> Stokes			X	
	<i>Phacus hamatus</i> Pochmann		X	X	
	<i>Phacus suecicus</i> Lemmermann			X	
	<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	X	X		
	<i>Phacus pleuronectes</i> (O.F.Müller) Nitzsch ex Dujardin	X	X		X
	<i>Phacus tortus</i> (Lemmermann) Skvortzov				X
	<i>Strombomonas acuminata</i> (Schmarda) Deflandre	X			X
	<i>Trachelomonas armata</i> var. <i>armata</i> (Ehrenberg) F. Stein	X	X		X
	<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>hispida</i> (Perty) F. Stein	X	X	X	X
	<i>Trachelomonas robusta</i> Svirenko	X	X		
	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	X	X	X	X
Cryptophyceae	<i>Cryptomonas</i> sp.	X	X	X	X

Xanthophyceae	<i>Centrtractus belanophorus</i> Lemmermann	X	X	X	X
	<i>Isthmochloron gracile</i> (Reinsch) Skuja	X		X	X
	<i>Isthmochloron lobulatum</i> (Nägeli) Skuja	X		X	X
	<i>Tetraedriella jovetti</i> (Bourrelly) Bourrelly	X			
	<i>Tetraedriella</i> sp.		X	X	
	<i>Tetraedron regulare</i> Kützing			X	
	<i>Tetraedron victorieae</i> Smith			X	
	<i>Tetraplektron smithii</i>	X		X	
	<i>Tetraplektron torsum</i> (W.B. Turner) Dedusenko-Shchegoleva	X	X	X	X
Chrysophyceae	<i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof		X	X	X
	<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	X		X	
Dynophyceae	<i>Peridinium gatunense</i> Nygaard	X	X	X	X
	<i>Peridinium pusillum</i> (Pénard) Lemmermann	X	X	X	X
	<i>Peridinium</i> sp.	X		X	X
	<i>Peridinium umbonatum</i> F. Stein	X	X	X	X
Bacillariophyceae	<i>Amphora copulata</i> (kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald	X	X	X	
	Pennales N.I.1				X

	<i>Encyonema lunatum</i> (W.Smith) Van Heurck			X		
	<i>Encyonema</i> sp.	X				X
	<i>Eunotia lineolata</i> Hustedt		X			
	<i>Eunotia</i> sp.1		X			X
	<i>Eunotia</i> sp.2	X	X			
	<i>Eunotia</i> sp.3	X	X			
	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	X	X	X		X
	<i>Pinnularia divergens</i>			X		X
	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller		X			
Coscinodiscophyceae	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	X		X		
	<i>Aulacoseira</i> sp.					X
	<i>Cyclotella stelligera</i> (Cleve and Grunow)	X				
	<i>Melosira</i> sp.				X	X
Fragilariophyceae	<i>Synedra</i> sp.		X			X
	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg			X		
	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M.Aboal	X				
	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère		X	X		X
Total		223	137	126	98	135

*Referentes ao Capítulo 3*

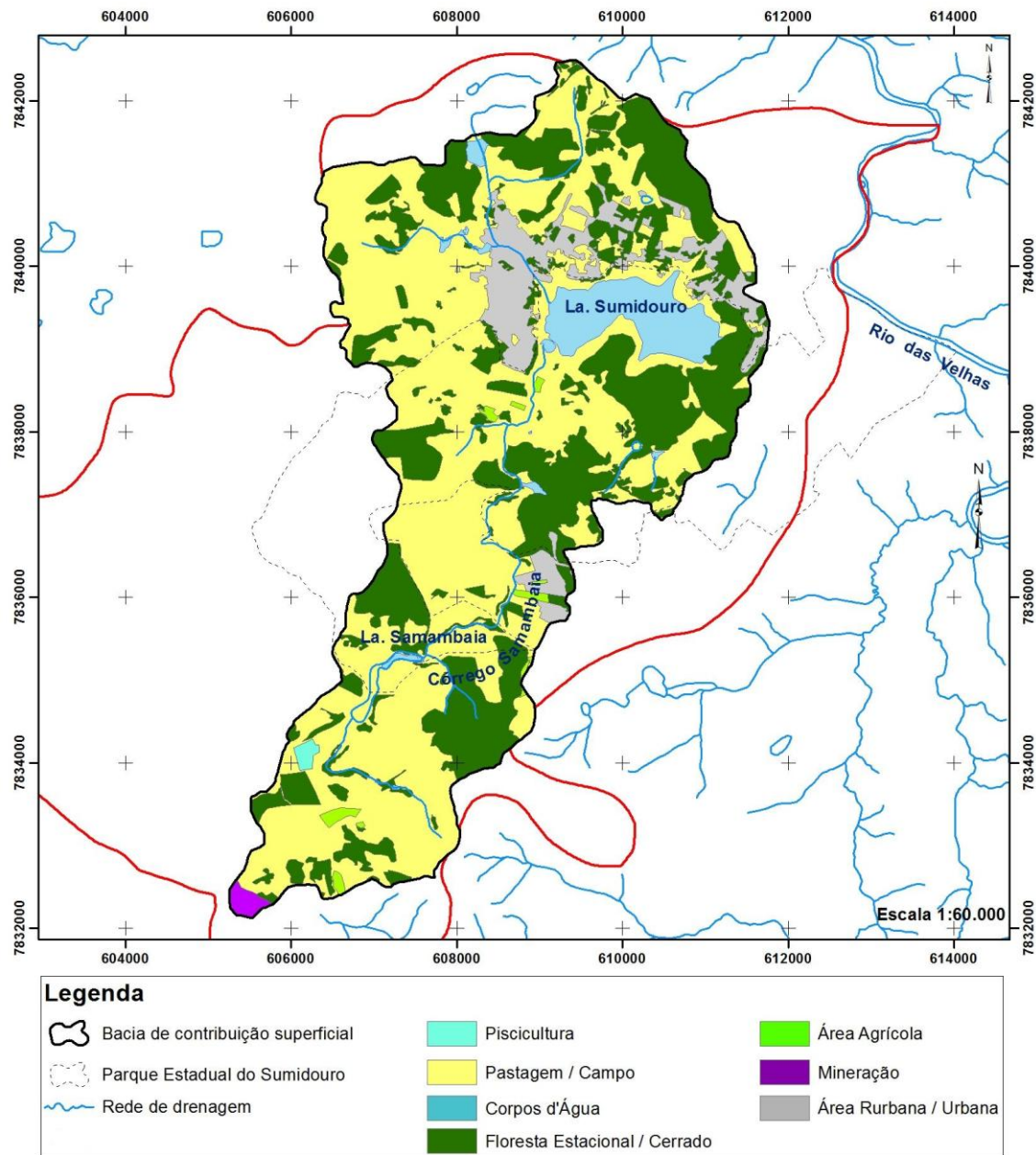


Figura 1: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica de contribuição superficial da lagoa (La.) Sumidouro.

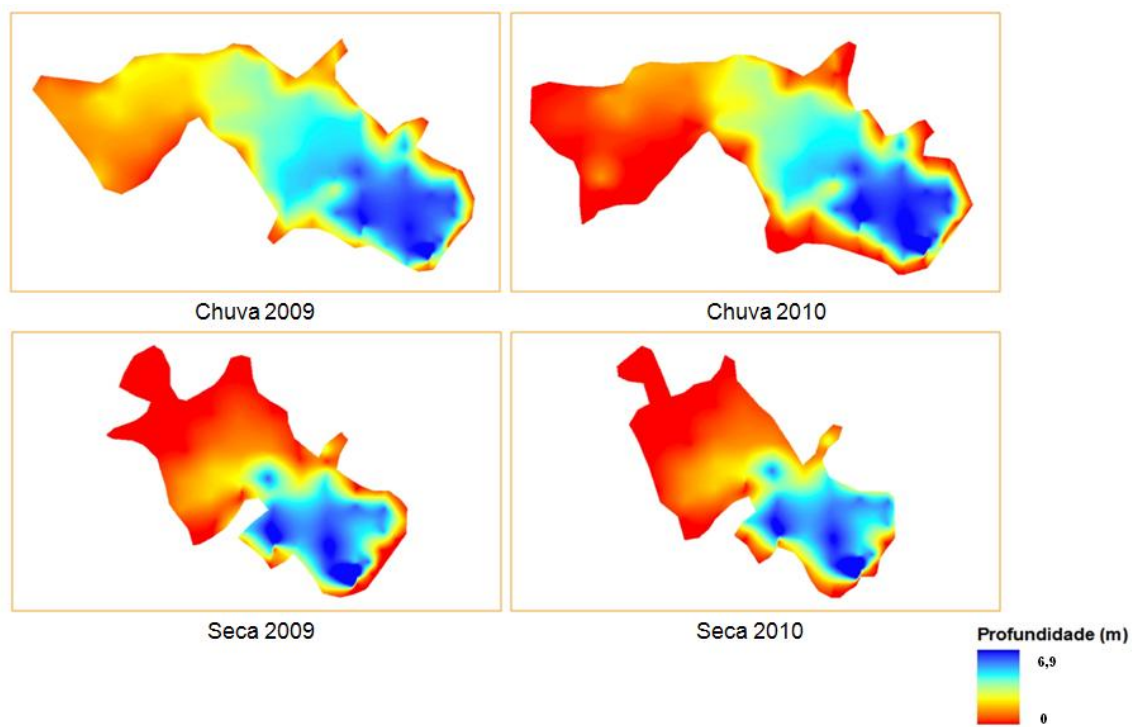


Figura 2. Mapas batimétricos da lagoa Sumidouro nos períodos de seca e chuva de 2009 e 2010.

Tabela 1: Parâmetros morfométricos e respectivos métodos utilizados.

Parâmetro	Abreviação	Critério/Fórmula
Profundidade máxima	Z <sub>max</sub>	A profundidade máxima foi obtida por meio da geração de carta batimétrica utilizando o programa ArcGIS 9.3 (ESRI Inc.).
Profundidade média	Z <sub>mean</sub>	A profundidade média foi obtida por meio da relação entre o volume de água acumulado e a superfície do espelho d'água.
Volume	V	O volume foi obtido por meio da geração de carta batimétrica utilizando o programa ArcGIS 9.3 (ESRI Inc.).
Área	A	A área foi obtida a partir da delimitação da linha de contorno da lagoa utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5.
Fator de envolvimento	C/A	O fator de envolvimento foi obtido pela relação entre a área da bacia hidrográfica da lagoa e a área da própria lagoa.
Profundidade relativa	Z <sub>rel</sub>	A profundidade relativa foi obtida por meio do quociente entre a profundidade máxima do lagoa e o seu diâmetro médio: $Z_{rel} = \frac{50z_{max} \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$
Comprimento máximo	L	O comprimento máximo foi obtido a partir da delimitação da linha de contorno da lagoa utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5.
Largura máxima	W	A largura máxima foi obtida a partir da delimitação da linha de contorno da lagoa utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5.
Perímetro	P	O perímetro foi obtido a partir da delimitação da linha de contorno da lagoa utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5.
Desenvolvimento do perímetro	D <sub>p</sub>	O desenvolvimento do perímetro foi obtido por meio da relação entre o perímetro da lagoa e a circunferência de um círculo de mesma área da lagoa: $D_p = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$
Desenvolvimento do volume	D <sub>v</sub>	O desenvolvimento do volume foi obtido por meio da razão entre o volume da lagoa e o volume de um cone de mesma área e altura equivalente à profundidade máxima: $D_v = 3Z_{mean} / z$



Tabela 2: Matriz de correlação entre variáveis limnológicas e morfológicas utilizando o teste de Spearman. As correlações significativas (>0,70 ao nível de 5% de significância) são mostradas em negrito. n=8.

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-total	PO <sub>4</sub> -P	P-total	TN:TP	Clorofila <i>a</i>	OD	pH	Secchi
Profundidade máxima	0,546	0,109	-0,109	-0,109	0,384	0,000	-0,436	0,655	-0,671	0,218	<b>0,697</b>
Profundidade média	0,293	0,146	0,244	0,244	0,319	0,293	-0,488	<b>0,781</b>	-0,350	0,098	0,572
Volume	0,683	0,049	-0,439	-0,439	0,368	-0,293	-0,293	0,390	<b>-0,850</b>	0,293	0,676
Área	0,683	0,049	-0,439	-0,439	0,368	-0,293	-0,293	0,390	<b>-0,850</b>	0,293	0,676
Área da bacia/Área do lagoa	-0,683	-0,049	0,439	0,439	-0,368	0,293	0,293	-0,390	<b>0,850</b>	-0,293	-0,676
Profundidade relativa	0,077	0,154	0,463	0,463	0,233	0,463	-0,463	<b>0,772</b>	-0,079	0,000	0,411
Comprimento máximo	0,683	0,049	-0,439	-0,439	0,368	-0,293	-0,293	0,390	<b>-0,850</b>	0,293	0,676
Largura máxima	0,537	-0,293	-0,195	-0,293	0,147	-0,293	-0,488	0,488	-0,650	-0,098	0,624
Perímetro	0,683	0,049	-0,439	-0,439	0,368	-0,293	-0,293	0,390	<b>-0,850</b>	0,293	0,676
Desenvolvimento do volume	0,293	0,146	0,244	0,244	0,319	0,293	-0,488	<b>0,781</b>	-0,350	0,098	0,572
Desenvolvimento do perímetro	-0,683	-0,049	0,439	0,439	-0,368	0,293	0,293	-0,390	<b>0,850</b>	-0,293	-0,676

Tabela 3: Matriz com o p-valor da correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas e morfológicas. As correlações significativas são mostradas em negrito.

Limnológicas/ Morfológicas	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-total	PO <sub>4</sub> -P	P-total	TN:TP	Clorofila <i>a</i>	OD	pH	Secchi
Profundidade máxima	0,162	0,797	0,797	0,797	0,347	1,000	0,280	0,078	0,069	0,604	<b>0,054</b>
Profundidade média	0,482	0,729	0,560	0,560	0,441	0,482	0,220	<b>0,022</b>	0,395	0,818	0,139
Volume	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066
Área	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066
Área da bacia/Área do lagoa	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066
Profundidade relativa	0,856	0,715	0,248	0,248	0,579	0,248	0,248	<b>0,025</b>	0,852	1,000	0,312
Comprimento máximo	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066
Largura máxima	0,170	0,482	0,643	0,482	0,728	0,482	0,220	0,220	0,081	0,818	0,098
Perímetro	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066
Desenvolvimento do volume	0,482	0,729	0,560	0,560	0,441	0,482	0,220	<b>0,022</b>	0,395	0,818	0,139
Desenvolvimento do perímetro	0,062	0,909	0,276	0,276	0,370	0,482	0,482	0,339	<b>0,008</b>	0,482	0,066

**Memorial de cálculo – Estimativa de concentração de Fósforo**

***Estimativa do tempo de detenção hidráulica***

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{572300}{0,517}$$

$$t = 1106963,25s = 0,00146anos = 12,8dias$$

***Estimativa da carga de P afluyente à lagoa oriundo da pastagem***

$$100ha = 1Km^2$$

$$1 ha = 0,01 Km^2$$

1,5 cabeça – 0,01 Km<sup>2</sup> : Capacidade de suporte médio da pastagem na região, segundo (IMA 2011).

Área da bacia de contribuição superficial da lagoa com pastagem: 1785 ha

Área do Parque do Sumidouro com pastagem: 930 ha (sem uso)

Área contabilizada de pastagem para o cálculo: 855 ha ou 8,55 Km<sup>2</sup>

$$1,5 \text{ cabeça} - 0,01 \text{ Km}^2$$

$$X - 8,55 \text{ Km}^2$$

$$X = 1282,5 \text{ cabeças de gado}$$

$$1282,5 \text{ cabeças de gado} \times 7 \text{ Kg P/cabeças de gado. ano} = 8.977,5 \text{ Kg P/ano}$$

**Tabela 1: Estimativa de carga de fósforo afluyente à lagoa Sumidouro**

Uso	Área (Km <sup>2</sup> )	Valores adotados de carga unitária (kgP/Km <sup>2</sup> .ano)	Estimativa de carga de P afluyente à lagoa (kgP/ano)
Área com cobertura vegetal	10,48	10	104,8
Área Rurbana/Urbana	2,16	100	216
Área Agrícola	0,2	50	10
Seres Vivos	Número		
População humana	6.516	1	6.516
Bovinos	1.282,5	7	8.977,5
Total			15.894,3

**Estimativa da concentração de fósforo na lagoa**

$$P = \frac{L \cdot 10^3}{V \cdot \left( \frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)}$$

$$P = \frac{15.824,3 \cdot 10^3}{57.2300 \cdot \left( \frac{1}{0,0014} + \frac{2}{\sqrt{0,0014}} \right)}$$

$$P = \frac{15824300}{446931962} = 0,035 \text{ g / m}^3$$

0,035g/m<sup>3</sup> ou mg/L x 1000=35mg/m<sup>3</sup> ou µg/L

**Estimativa da concentração de P na lagoa para manter a mesotrofia**

$$L = \frac{P \cdot V \cdot \left( \frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)}{10^3}$$

$$L = \frac{0,025 \cdot 572300 \cdot (780,94)}{10^3}$$

$$L = \frac{11173299,05}{1000}$$

$$L = 11173,29$$

15.824,3-11.173,29=4.651,01 (29,39% do aporte de P deve se diminuído)

## ANEXOS

## Normas de submissão da revista 'Brazilian Archives of Biology and Technology'

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

**Submission of papers**

*Brazilian Archives of Biology and Technology* publishes original research papers, Short notes and Review articles in English in the interdisciplinary areas of biological sciences and engineering/technology. Submission of paper implies that it has not been published or being considered for publication elsewhere. Care should be taken to prepare a compact manuscript with precision in presentation, which will help authors in its acceptance. All the papers are subjected to review by referees.

**Manuscript**

Three copies of the single-spaced typed manuscript (maximum 12 pages for original and review articles and 2-4 pages for short notes) on a high grade A-4 size paper (210x297 mm), with margins (left 25, right 20, superior and inferior 30 mm) should be prepared. This should be divided under the following headings: ABSTRACT, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION, ACKNOWLEDGEMENTS, RESUMO, REFERENCES. These headings should be typed in bold upper case (12 font). For review articles, authors should make their own headings along with Abstract and Introduction.

**Title**

The title (18 font, bold) of the paper should clearly reflect its contents. It should be followed by the name(s) of author(s) with expanded initials (12 font, bold) and the address(s) (*italic*, 10 font) of the institution(s) where the work has been carried out.

**ABSTRACT**

Each paper should be provided with an abstract (*italic*) of 100-150 words, describing briefly on the purpose and results of the study. It should be prepared as concisely as possible.

**Key words**

Authors should provide three to six key words that will be used in indexing their paper.

**INTRODUCTION**

This should describe the background and relevant information about the work. It should also state the objective of the work.

**MATERIALS AND METHODS**

Authors must take care in providing sufficient details so that others can repeat the work. Standard procedures need not be described in detail.

**RESULTS AND DISCUSSION**

Results and Discussion may be presented separately or in combined form (authors may decide easier way for them).

Preliminary work or less relevant results are not to be described. The reproducibility of the results, including the number of times the experiment was conducted and the number of replicate samples should be stated clearly.

**RESUMO**

An abstract of the paper should also be prepared in Portuguese and placed before the list of References. Authors from other than Latin American countries can seek the help of Editor's office to prepare Portuguese resumo of their papers.

**REFERENCES**

References in the text should be cited at the appropriate point by the name(s) of the author(s) and year (e.g. Raimbault & Roussos, 1996; Raimbault *et al.*, 1997). A list of references, in the alphabetic order (10 font), should appear at the end of the manuscript. All references in the list should be indicated at some point in the text and vice versa. Unpublished results should not be included in the list. Examples of references are given below.

*In journals:*

Pandey, A. (1992), Recent developments in solid state fermentation. *Process Biochem.*, 27, 109-117

*Thesis:*

Chang, C. W. (1975), Effect of fluoride pollution on plants and cattle. PhD Thesis, Banaras Hindu University, Varanasi, India

*In books:*

Tengerdy, R. P. (1998), Solid substrate fermentation for enzyme production. In-*Advances in Biotechnology*, ed. A. Pandey. Educational Publishers & Distributors, New Delhi, pp. 13-16

Pandey, A. (1998), *Threads of Life*. National Institute of Science Communication, New Delhi

*In conferences:*

Davison, A. W. (1982), Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluorides by vegetation. Paper presented at 6<sup>th</sup> International Fluoride Symposium, 1-3 May, Logan, Utah

**Tables and Figures**

Tables and figures, numbered consecutively with arabic numerals must be inserted at appropriate place in the text. These should be used to present only those data, which can not be described in the text

**Units and Abbreviations**

The SI system should be used for all experimental data. In case other units are used, these should be added in parentheses. Only standard abbreviations for the units should be used. Full stop should not be included in the abbreviation (e.g. m, not m. or rpm, not r.p.m.). Authors should use '%' and '/' in place of 'per cent' and 'per'.

**Manuscript lay-out**

It is suggested that authors consult a recent issue of the journal for the style and layout. Except the title, abstract and key words, entire text should be placed in two columns on each page. Footnotes, except on first page indicating the corresponding author (8 font) should not be included. The entire manuscript should be prepared in Times New Roman, 11 font (except reference list, which should be in 10 font).

**Spacing**

Leave one space between the title of the paper and the name(s) of the author(s), and between the headings and the text. No space should be left between the paragraphs in the text. Leave 0.6-cm space between the two columns.

**Electronic submission**

Manuscript should be accompanied by a diskette indicating the name and version of the word processing programme used (use only MS Word 6/7 or compatible).

**Referees**

When submitting the manuscript authors may suggest up to three referees, preferably from other than their own countries, providing full name and address with email. However, the final choice of referees will remain entirely with the Editor.

**Page charges and reprints**

There will be no page charges. Reprints can be ordered up on acceptance of the paper.

Manuscripts and all correspondence should be sent to the Editor:

Prof. Dr. Carlos R. Soccol

*Brazilian Archives of Biology and Technology*

Rua Prof. Algacyr Munhoz Mader 3775-CIC 81350-010  
Curitiba-PR, Brazil

Fax +55-41-247 67 88

Email: [niet@tecpar.br](mailto:niet@tecpar.br)

---

**Subscription Information**

Published quarterly. Annual institutional subscription rates: R\$ 130,00 for Brazil; US\$ 130,00 for all other countries (including postage).

---

## Normas de submissão da revista 'Hydrobiologia'

### Aims & scope

*Hydrobiologia* publishes original articles in the fields of limnology and marine science that are of interest to a broad and international audience. The scope of *Hydrobiologia* comprises the biology of rivers, lakes, estuaries and oceans and includes palaeolimnology and -oceanology, taxonomy, parasitology, biogeography, and all aspects of theoretical and applied aquatic ecology, management and conservation, ecotoxicology, and pollution. Purely technological, chemical and physical research, and all biochemical and physiological work that, while using aquatic biota as test-objects, is unrelated to biological problems, fall outside the journal's scope. All papers should be written in English. THERE IS NO PAGE CHARGE, provided that manuscript length, and number and size of tables and figures are reasonable (see below). Long tables, species lists, and other protocols may be put on any web site and this can be indicated in the manuscript. Purely descriptive work, whether limnological, ecological or taxonomic, can only be considered if it is firmly embedded in a larger biological framework.

### Editorial policy

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a native English-speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.

Papers which conform to journal scope and style are sent to at least 2 referees, mostly through a member of the editorial board, who will then act as coordination editor. Manuscripts returned to authors with referee reports should be revised and sent back to the editorial as soon as possible. Final decisions on acceptance or rejection are made by the editor-in-chief. *Hydrobiologia* endeavours to publish any paper within 6 months of acceptance. To achieve this, the number of volumes to be published per annum is readjusted periodically.

### Categories of contributions

There are four categories of contributions to *Hydrobiologia*:

- [1.] **Primary research papers** generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers MUST be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.
- [2.] **Short research notes**, 2-4 printed pages, present concise information on timely topics. Abstract, key words and references are required; the remainder is presented as continuous text.
- [3.] **Review papers**, and **Taxonomic revisions** are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript, either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.
- [4.] **Opinion papers** reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.

Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

## Online manuscript submission

*Hydrobiologia* has a fully web-enabled manuscript submission and review system. This system offers authors the option of tracking in real time the review process of their manuscripts. The online manuscript and review system offers easy and straightforward login and submission procedures. It supports a wide range of submission file formats, including Word, WordPerfect, RTF, TXT and LaTeX for article text and TIFF, EPS, PS, GIF, JPEG and PPT for figures. PDF is not a recommended format.

Manuscripts should be submitted to:

<http://hydr.editorialmanager.com>

<http://hydr.edmgr.com>

Authors are requested to download the Consent-to-Publish and Transfer of Copyrights form from this system. Please send a completed and signed form either by mail or fax to the Hydrobiologia Office.

**NOTE:** By using the online manuscript submission and review system, it is NOT necessary to submit the manuscript also as printout + disk. If you encounter any difficulties while submitting your manuscript online, please get in touch with the responsible Editorial Assistant by clicking on 'CONTACT US' from the toolbar.

## Electronic figures

Electronic versions of your figures must be supplied. For vector graphics, EPS is the preferred format. For bitmapped graphics, TIFF is the preferred format. The following resolutions are optimal: line-figures - 600 - 1200 dpi; photographs - 300 dpi; screen dumps - leave as is. Colour figures can be submitted in the RGB colour system. Font-related problems can be avoided by using standard fonts such as Times New Roman, Courier and Helvetica.

## Colour figures

Springer offers two options for reproducing colour illustrations in your article. Please let us know what you prefer: 1) Free online colour. The colour figure will only appear in colour on [www.springer.com](http://www.springer.com) and not in the printed version of the journal. 2) Online and printed colour. The colour figures will appear in colour on our website and in the printed version of the journal. The charges are EUR 950/USD 1150 per article.

## Language

We appreciate any efforts that you make to ensure that the language use is corrected before submission. This will greatly improve the legibility of your paper if English is not your first language.



## Preparing the manuscript

Manuscripts should conform to standard rules of English grammar and style. Either British or American spelling may be used, but consistently throughout the article. Conciseness in writing is a major asset as competition for space is keen.

The Council of Biology Editors Style Manual (4th edition, 1978; available from the Council of Biology Editors, Inc., 9650 Rockville Pike, Bethesda, MD 20814, USA) is recommended as a vademecum for matters of style, form and for the use of symbols and units (see <http://www.lib.ohio-state.edu/guides/cbegd.html>). The conventions of the International Union of Pure and Applied Chemistry, and the recommendations of the IUPAC-IUB Combined Commission on Biochemical Nomenclature should be applied for chemical nomenclature (see <http://www.hgu.mrc.ac.uk/Softdata/Misc/ambcode.htm>).

The contents of manuscripts should be well-organized. Page one should show the title of the contribution, name(s) of the author(s), address(es) of affiliation(s) and up to six key words. The first page should also include the following statement: "This paper has not been submitted elsewhere in identical or similar form, nor will it be during the first three months after its submission to *Hydrobiologia*." The abstract should appear on page two. The body of the text should begin on page three. Names of plants and animals and occasional expressions in Latin or Greek should be typed in italics. All other markings will be made by the publisher.

Authors are urged to comply with the rules of biological nomenclature, as expressed in the International Code of Zoological Nomenclature, the International Code of Botanical Nomenclature, and the International Code of Nomenclature of Bacteria. When a species name is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of its describer should also be given. Descriptions of new taxa should comprise official repository of types (holotype and paratypes), author's collections as repositories of types are unacceptable.

## References

References in the text will use the name and year system: Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97-109.

Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6-36.

Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.

Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv fr Hydrobiologie* 131: 309-320.

## Offprints and copyright

Fifty offprints of each article will be provided free of charge. Additional offprints can be ordered when proofs are returned to the publishers. The corresponding author of each paper accepted for publication will receive a Consent-to-Publish/Copyright form to sign and return to the Publisher as a prerequisite for publication.

## Developments in Hydrobiology

The book series *Developments in Hydrobiology* reprints verbatim, but under hard cover, the proceedings of specialized scientific meetings which also appear in *Hydrobiologia*, with the aim of making these available to individuals not necessarily interested in subscribing to the journal itself. Papers in these volumes must be cited by their original reference in *Hydrobiologia*. In addition, *Developments in Hydrobiology* also publishes monographic studies, handbooks, and multi-author edited volumes on aquatic ecosystems, aquatic communities, or any major research effort connected with the aquatic environment, which fall outside the publishing policy of *Hydrobiologia*, but are printed in the same format and follow the same conventions. Guest editors of such volumes should follow the guidelines presented above and are responsible for all aspects of presentation and content, as well as the refereeing procedure and the compilation of an index. Prospective editors of special, subject-oriented volumes of *Hydrobiologia/Developments in Hydrobiology* are encouraged to submit their proposals to the editor-in-chief.

## Springer Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer now provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink. To publish via Springer Open Choice, upon acceptance please visit [www.springer.com/openchoice](http://www.springer.com/openchoice) to complete the relevant order form and provide the required payment information. Payment must be received in full before publication or articles will publish as regular subscription-model articles. We regret that Springer Open Choice cannot be ordered for published articles.

## Additional information

Additional information can be obtained from:

Springer

*Hydrobiologia*

P.O. Box 17

3300 AA Dordrecht

The Netherlands

Fax: +31-(0)78-6576254

Tel: +31-(0)78-6576244

Editorial assistant: [arina.vankerchove@springer.com](mailto:arina.vankerchove@springer.com)

Website : <http://www.springer.com> and <http://www.springer.com/prod/s/DIHY>

Normas de submissão da revista 'Brazilian Journal of Biology'

Normas do Brazilian Journal of Biology

Brazilian Journal of Biology

ISSN 0034-7108 versão impressa

ISSN 1806-9606 versão online

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Finalidade e normas gerais

A Revista Brasileira de Biologia publica resultados de pesquisa original em qualquer ramo das ciências biológicas. Estará sendo estimulada a publicação de trabalhos nas áreas de biologia celular, sistemática, ecologia (auto-ecologia e sinecologia) e biologia evolutiva, e que abordem problemas da região neotropical.

A Revista publica somente artigos em inglês. Artigos de revisões de temas gerais também serão publicados desde que previamente propostos e aprovados pela Comissão Editorial.

Informações Gerais: Os originais deverão ser enviados à Comissão Editorial e estar de acordo com as Instruções aos Autores, trabalhos que não se enquadrem nesses moldes serão imediatamente devolvidos ao(s) autor(es) para reformulação.

Os trabalhos que estejam de acordo com as Instruções aos Autores, serão enviados aos assessores científicos, indicados pela Comissão Editorial. Em cada caso, o parecer será transmitido anonimamente aos autores. Em caso de recomendação desfavorável por parte de um assessor, será usualmente pedida a opinião de um outro. Os trabalhos serão publicados na ordem de aceitação pela Comissão Editorial, e não de seu recebimento. Serão fornecidas gratuitamente 25 separatas de cada artigo.

Preparação de originais

O trabalho a ser considerado para publicação deve obedecer às seguintes recomendações gerais:

Ser digitado e impresso em um só lado do papel tipo A4 e em espaço duplo com uma margem de 3 cm à esquerda e 2 cm à direita, sem preocupação de que as linhas terminem alinhadas e sem dividir palavras no final da linha. Palavras a serem impressas em itálico podem ser sublinhadas.

O título deve dar uma idéia precisa do conteúdo e ser o mais curto possível. Um título abreviado deve ser fornecido para impressão nas cabeças de página.

Nomes dos autores – As indicações Júnior, Filho, Neto, Sobrinho etc. devem ser sempre antecedidas por um hífen. Exemplo: J. Pereira-Neto. Usar também hífen para nomes compostos (exemplos: C. Azevedo-Ramos, M. L. López-Rulf). Os nomes dos autores devem constar sempre na sua ordem correta, sem inversões. Não usar, nunca, como autor ou coautor nomes como Pereira-Neto J. Usar e, y, and, et em vez de & para ligar o último co-autor aos antecedentes.

Os trabalhos devem ser redigidos de forma concisa, com a exatidão e a clareza necessárias para sua fiel compreensão. Sua redação deve ser definitiva a fim de evitar modificações nas provas de impressão, muito onerosas e cujo pagamento ficará sempre a cargo do autor. Os trabalhos (incluindo ilustração e tabelas) devem ser submetidos em triplicata (original e duas cópias).

Serão considerados para publicação apenas os artigos redigidos em inglês. Todos os trabalhos deverão ter resumos em inglês e português. Esses resumos deverão constar no início do trabalho e iniciar com o título traduzido para o idioma correspondente. O Abstract e o Resumo devem conter as mesmas informações e sempre resumir resultados e conclusões.

Em linhas gerais, as diferentes partes dos artigos devem ter a seguinte seriação:

1ª página – Título do trabalho. Nome(s) do(s) autor(es). Instituição ou instituições, com endereço. Indicação do número de figuras existentes no trabalho. Palavras-chave em português e inglês (no máximo 5). Título abreviado para cabeça das páginas. Rodapé: nome do autor correspondente e endereço atual (se for o caso).

2ª página e seguintes – Abstract (sem título). Resumo: em português (com título);

Introduction, Material and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements.

Em separado – References, Legends to the figures, Tables and Figures.

O trabalho deverá ter, no máximo, 25 páginas, incluindo tabelas e figuras.

A seriação dos itens de Introduction e Acknowledgements só se aplica, obviamente, a trabalhos capazes de adotá-la. Os demais artigos (como os de Sistemática) devem ser redigidos de acordo com critérios geralmente aceitos na área.

Referências Bibliográficas – No texto, será usado o sistema autor–ano para citações bibliográficas, utilizando-se ampersand (&) no caso de 2 autores. As referências, 121datilografadas em folha separada, devem constar em ordem alfabética. Deverão conter nome(s) e iniciais do(s) autor(es), ano, título por extenso, nome da revista (abreviado e sublinhado), volume e primeira e última páginas. Citações de livros e monografias deverão também incluir a editora e, conforme citação, indicar o capítulo do

livro. Deve(m) também ser referido(s) nome(s) do(s) organizador(es) da coletânea. Exemplos:

OZORIO DE ALMEIDA, M., 1946, Sur les reflexes labyrinthiques chez la grenouille. Rev. Brasil. Biol., 6: 355-363.

REIS, J., 1980, Microbiologia, pp. 3-31. In: M. G. Ferri & Shozo Motoyama (orgs.), História das Ciências no Brasil, 2o vol., 468p., EDUSP e EPU, São Paulo.

MROSOVSKY, N. & YNTEMA, C. L., 1981, Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices. In: K. A. Bjorndal (ed.), Biology and Conservation of Sea Turtles, Smithsonian, Inst. Press in Coop. World, Wildlife Fund. Inc., Washington, D.C.

RIZZINI, C. T., 1979, Tratado de Fitogeografia do Brasil. Aspectos Sociológicos e Florísticos. HUCITEC, São Paulo, 2 vol., 374p.

KUHLMAN, J. G., OCCHIONI, P. & FALCÃO, J. I. A., 1947, Contribuição ao estudo das plantas ruderais do Brasil. Arq. Jard. Bot., 7: 43-131.

Para outros pormenores, veja as referências bibliográficas deste fascículo. A Revista publicará um Índice inteiramente em inglês, para uso das revistas internacionais de referência.

As provas serão enviadas aos autores para uma revisão final (restrita a erros e composição) e deverão ser devolvidas imediatamente. As provas que não forem devolvidas no tempo solicitado – 5 dias – terão sua publicação postergada para uma próxima oportunidade, dependendo de espaço.

Material Ilustrativo – Os autores deverão limitar as tabelas e as figuras (ambas numeradas em arábicos) ao estritamente necessário. No texto do manuscrito, o autor indicará os locais onde elas deverão ser intercaladas.

As tabelas deverão ter seu próprio título e, em rodapé, as demais informações explicativas.

Símbolos e abreviaturas devem ser definidos no texto principal e/ou legendas.

Na preparação do material ilustrativo e das tabelas, deve-se ter em mente o tamanho da página útil da REVISTA (22 cm x 15,0 cm); (coluna: 7 cm) e a idéia de conservar o sentido vertical. Desenhos e fotografias exageradamente grandes poderão perder muito em nitidez quando forem reduzidos às dimensões da página útil. As pranchas deverão ter no máximo 30 cm de altura por 25 cm de largura e incluir barra(s) de calibração.

As ilustrações devem ser agrupadas, sempre que possível. A Comissão Editorial reserva-se o direito de dispor esse material do modo mais econômico, sem prejudicar sua apresentação.

Todos os desenhos devem ser feitos à tinta da China e apresentados de tal forma que seja possível sua reprodução sem retoques. As fotografias devem vir em papel brilhante. Nas fotos, desenhos e tabelas deve-se escrever, a lápis, no verso, o nome do autor e o título do trabalho.

Disquete – Os autores são encorajados a enviar a versão final (e somente a final), já aceita, de seus manuscritos em disquete. Textos devem ser preparados em Word for Windows e acompanhados de uma cópia idêntica em papel.

Recomendações Finais: Antes de remeter seu trabalho, preparado de acordo com as instruções anteriores, deve o autor relê-lo cuidadosamente, dando atenção aos seguintes itens: correção gramatical, correção datilográfica (apenas uma leitura sílaba por sílaba a garantir), correspondência entre os trabalhos citados no texto e os referidos na bibliografia, tabelas e figuras em arábicos, correspondência entre os números de tabelas e figuras citadas no texto e os referidos em cada um e posição correta das legendas.