

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

**DETERMINAÇÃO DO METABOLISMO NICTIMERAL DOS SISTEMAS
AQUÁTICOS DO NORTE E VALE DO JEQUITINHONHA DE MINAS
GERAIS – BRASIL**

LAURA MARTINS GAGLIARDI

MONTES CLAROS – MG
2008

LAURA MARTINS GAGLIARDI

**DETERMINAÇÃO DO METABOLISMO NICTIMERAL DOS SISTEMAS
AQUÁTICOS DO NORTE E VALE DO JEQUITINHONHA DE MINAS
GERAIS – BRASIL**

**Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Biológicas
como requisito para obtenção do
título de Mestre em Ciências
Biológicas.**

Aprovada em: 30 de Junho de 2008

Prof. Dr. Anderson Medeiros dos Santos

(Orientador)

Universidade Estadual de Montes Claros

Prof. Dr. Maurício Lopes de Faria

(Integrante da Banca Examinadora Interno)

Universidade Estadual de Montes Claros

Prof. Dr. Maurício Mello Petrucio

(Integrante da Banca Examinadora Externo)

Universidade Federal de Santa Catarina

LAURA MARTINS GAGLIARDI

**DETERMINAÇÃO DO METABOLISMO NICTIMERAL DOS SISTEMAS
AQUÁTICOS DO NORTE E VALE DO JEQUITINHONHA DE MINAS
GERAIS – BRASIL**

ORIENTADOR: PROF. DR. ANDERSON MEDEIROS DOS SANTOS
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. RONALDO REIS

**Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Biológicas
como requisito para obtenção do
título de Mestre em Ciências
Biológicas.**

**MONTES CLAROS – MG
2008**

“À minha filha Maria Eduarda, anjo de Deus, enviada a mim a fim de iluminar, dar razão e sentido a minha vida. Faço o que faço por você e para você.”

"Que a inspiração chegue não depende de mim. A única coisa que posso fazer é garantir que ela me encontre trabalhando."

Pablo Picasso

"O primeiro dever da inteligência é desconfiar dela mesma."

"A curiosidade é mais importante que o conhecimento."

Albert Einstein

"Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre; segundo, por imitação, que é o mais fácil; e terceiro, por experiência, que é o mais amargo."

Confúcio

AGRADECIMENTOS

À Deus pelos dons concedidos nessa caminhada: coragem para enfrentar o novo; perseverança para continuar quando tudo parecia estar perdido; força para me reerguer após as várias quedas; sabedoria para aprender com minhas falhas; paciência para vencer as adversidades; humor nos momentos de tristeza e desânimo; e principalmente pelos anjos que enviaste para fazer minha caminhada mais segura;

Ao meu Anjo Luz, Dudinha, minha filha por dar significado à vida, e sentido a luta do dia – a – dia. Tudo o que faço é por ela e para ela;

Aos meus Anjos Fortaleza, minha mãe Ângela, meu pai Edson e irmão Niu, por ser meu porto seguro, mão estendida, certeza do amparo;

Aos meus Anjos Mestres:

Anderson, meu orientador, por me guiar pelos ecossistemas aquáticos, pelas oportunidades oferecidas, pela confiança e por ter me ensinado a acreditar mais em mim. Com você aprendi a andar com minhas próprias pernas sem perder a humildade para dizer “não sei, me ensina?”;

Ronaldo, meu co-orientador, pela paciência e disponibilidade durante a dura busca pelos conhecimentos estatísticos. Se não fosse você o R ainda seria um campo minado inexplorável;

Maurício Mello Petrucio, pela disponibilidade na participação da banca examinadora e por dividir parte de seu conhecimento para o enriquecimento deste trabalho;

Humberto Marotta, pelo essencial auxílio durante a dura caminhada pelas trilhas do metabolismo aquático e pelo carinho, bom humor e principalmente pela paciência em me atender sempre que necessário.

Marcílio, Maurício, Mário, Yule, Henrique, Dario, Márcio e Geraldo por terem dividido parte de sua sabedoria colaborando efetivamente para meu crescimento profissional e pessoal;

Aos meus Anjos Parceiros, Fred, Lemuel, Jarina, Paulo, Betânia, Magno, Janete e Nescau por terem acreditado no meu potencial e me auxiliado das mais diversas formas, dando opiniões centradas para tomadas de decisões, apaziguando minha ansiedade em momentos desesperados, oferecendo espaço apropriado e auxílio para a redação deste trabalho e estarem presentes em momentos de descontração fazendo com que isso não pesasse na consciência;

Aos meus Anjos Companheiros:

Juliana, Bárbara, Fátima, Marcela, Jose, Jaciara e Francisney pela amizade, paciência em me ouvir (e como...) e apoiar, me dando suporte nas minhas “fugas” do serviço, me ajudando a compreender o que para mim é incompreensível (a Química, por exemplo), participando direta ou indiretamente de cada etapa deste trabalho e principalmente por me darem força nos momentos desesperados;

Ana Paula, Rapha, Cássia, Lillian, Kenya pela amizade, auxílio e momentos de descontração;

Wesley, meu parceiro de campo, pelo companheirismo, amizade e excelente humor mesmo nos momentos mais difíceis das coletas. O campo sem você ficou muito chato. Agora com quem que vou implicar, brigar, beber e me fazer rir as 24:00 e 3:00 horas da madrugada?;

Aos meus Anjos Estagiários:

Luana, Silvia, Mariana, Flávia, Leandro e Jadir, meus estagiários na FASI, por terem segurado as pontas do laboratório quando não podia estar presente. A sua responsabilidade e seriedade no trabalho construíram a confiança e segurança que tenho por vocês;

Welha, Luciana, Francisca, Carol, Fernanda, Stanley, estagiários do laboratório de Limnologia, pela ajuda nas coletas de campo e “favorzinhos”, prestados durante este trabalho;

Estagiários dos laboratórios de Zoologia, Ecologia evolutiva, Ecologia vegetal e Biologia da Conservação pelo respeito e carinho, pela prontidão ao atender meus pedidos de auxílio e pelos bons momentos de conversa e descontração;

Aos meus Anjos Colegas de caminhada, meus colegas de mestrado, pela excelente convivência e trabalho conjunto, momentos de descontração e “papos cabeça” (este é para você Reinaldo);

Aos meus Anjos Amantes pelos momentos de carinho, amor, “diversão” e relaxamento. Vocês foram tão importantes para a conclusão deste trabalho quanto qualquer outro.

Aos demais anjos que passaram ou estão presentes na minha vida, e que por motivo de espaço não foram citados, pela amizade, carinho, respeito, confiança e auxílio a mim atribuídos.

A todos estes anjos, que insisto em chamá-los de amigos, meu muito obrigado pela confiança e por toda ajuda que recebi.

*“Suportaria, embora não sem dor, que tivessem
morrido todos meus amores, mas enlouqueceria se
morressem todos os meus amigos.”*

Vinícius de Moraes

A FAPEMIG e TROPY-DRY pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas pela oportunidade e excelente aprendizado

Ao IEF de Itacarambi responsável pelo Parque Estadual da Mata Seca, da APA de Pandeiros e do Parque Estadual do Rio Preto gerenciadas respectivamente por José Luiz, Walter e Tonhão pelo apoio e auxílio para a realização deste trabalho;

A COPASA e técnico ambiental Ponciano pela cordialidade e presteza com que nos recebeu na barragem de Juramento;

Ao Corpo de Bombeiros de Montes Claros pelo pronto auxílio, garantindo nossa segurança e colaborando para as coletas nos sistemas aquáticos urbanos;

Este trabalho teve como apoio os seguintes órgãos:



RESUMO

Recentes projeções climáticas têm chamado muita atenção científica e pública para a compreensão dos padrões da ciclagem de carbono assim seu controle, particularmente os fatores que determinam se um ecossistema é fonte ou dreno líquido de dióxido de carbono atmosférico. Os fluxos de CO₂ entre os sistemas aquáticos e atmosfera são principalmente determinados pelo balanço entre a fixação de CO₂ pela produção primária e a liberação deste gás pela respiração o que é denominado de metabolismo aquático. Os sistemas podem apresentar, em relação à atmosfera, subsaturação e, portanto, apreensão de dióxido de carbono (metabolismo autotrófico) ou supersaturação e liberação líquida de CO₂ (metabolismo heterotrófico). A maioria dos estudos tem mostrado predominância de heterotrofismo em diferentes sistemas aquáticos. Baseado nas variações diárias do CO₂T este trabalho oferece estimativas do metabolismo líquido de diferentes sistemas aquáticos do norte de Minas Gerais. O estudo foi realizado em quatro sistemas lóticos e seis sistemas lênticos sendo três lagoas e três represas. Os sistemas mostraram-se predominantemente autotróficos, fato que pode estar relacionado a falta de entrada de material alóctone no período em que as coletas foram realizadas, penetração luminosa e condição nutricional dos sistemas. Apenas três sistemas mostraram atividade biológica heterotrófica, Lagoa da Prata na região do banco de macrófitas, Lagoa dos Patos e Rio Preto, sendo que todos recebem matéria orgânica continuamente. Desta forma, pode-se concluir que sistemas eutróficos apresentaram metabolismo autotrófico e sistemas oligotróficos mostraram atividade heterotrófica. As grandes diferenças existentes entre os sistemas e suas bacias, bem como sua utilização faz com que as respostas metabólicas líquidas diárias sejam muito divergentes.

Palavras – Chave: Metabolismo aquático, Ciclo diário, Dióxido de Carbono, Sistemas autotróficos, Sistemas heterotróficos

ABSTRACT**NICTIMERAL METABOLISM DETERMINATION OF NORTH AND VALE DO JEQUITINHONHA OF MINAS GERAIS - BRAZIL**

Recent projections of climatic change have focused a great deal of scientific and public attention on patterns of carbon cycling as well as its controls, particularly the factors that determine whether an ecosystem is a net source or sink of atmospheric carbon dioxide (CO₂). Aquatic ecosystems – atmosphere CO₂ fluxes are mainly determined by balance between CO₂ fixation from primary production and evasion of this gas from respiration, what is named aquatic metabolism. Aquatic systems can show, regarding to atmosphere, a subsaturation and, a net CO₂ sink (autotrophic metabolism) or supersaturation and net CO₂ source (heterotrophic metabolism). The most researches had been shown predominance of heterotrophy in different aquatic systems. Based on CO₂ nictimeral variations, this research provides estimations of different aquatic systems net metabolism in north of Minas Gerais. This research was conducted in four lotic systems and six lentic systems (3 lakes and 3 reservoirs). The systems were, predominantly, autotrophic, what can be related to the lack of organic matter allochthone in the analyses time. Just three systems show heterotrophic biological activity, Lagoa da Prata in the macrophytes banks local, Lagoa dos Patos and Rio Preto, in which there are continuous organic matter inflow. Therefore, we can conclude that eutrophic systems showed autotrophic metabolism while oligotrophic systems showed heterotrophic activity. The great differences between the systems and their basins, as well as their human use do that the net nictimeral metabolic responses be too divergent.

Key - Words: Aquatic metabolism, Daily Cycle, Carbon Dioxide, Autotrophic Systems, Heterotrophic Systems

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	17
1.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.2- SISTEMA DO CO ₂ – FORMAS DE CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO, pH E ALCALINIDADE	19
1.3- METABOLISMO EM SISTEMAS AQUÁTICOS	23
2- OBJETIVO	27
3- MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1- ÁREA DE ESTUDO	29
3.2- METODOLOGIA	39
3- RESULTADOS.....	45
3.1- PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	45
3.2- METABOLISMO AQUÁTICO DE CARBONO LÍQUIDO DIÁRIO	53
4- DISCUSSÃO	59
4.1- METABOLISMO LÍQUIDO GLOBAL DOS SISTEMAS AQUÁTICOS	59
4.2- METABOLISMO DE C EM SISTEMAS AQUÁTICOS LÊNTICOS: LAGOS E REPRESAS	63
4.3- METABOLISMO DE CARBONO EM SISTEMAS AQUÁTICOS LÓTICOS	70
5- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	75
6- REFERÊNCIAS	78

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Relação entre pH e as proporções relativas das espécies de carbono inorgânico: CO_2 livre ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$), HCO_3^- e CO_3^{2-} na solução. O pK é o coeficiente de dissolução. No pH 6,4 o pK do ácido carbônico é igual a do bicarbonato significando que neste ponto as duas formas carbonatadas estão em equilíbrio no sistema. No pH 10,3 o pK do bicarbonato é igual a do carbonato significando que neste ponto ambas as formas carbonatadas estão presentes. (Retirado de Wetzel, 2001 e ligeiramente modificado de Golterman, 1969). 21
- Figura 2-** Mapa de Minas Gerais mostrando a localização das regiões analisadas neste estudo. Os marcadores, amarelo, azul escuro, rosa, azul claro e verde mostram, respectivamente, a localização do PEMS, Rio Pandeiros, Montes Claros, barragem da COPASA e PERPreto..... 30
- Figura 3-** (A) Lagoa da Prata no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS) vista de cima a esquerda do Rio São Francisco; a seta vermelha aponta a Lagoa da Prata. Observa-se também os dois pivôs existentes no parque. (B) Região da Lagoa onde as coletas foram realizadas sendo que (1) indica a região de água livre e (2) indica o banco de macrófitas; (C) Detalhe do local da lagoa cuja lâmina d'água se mostrou permanentemente livre da ocorrência de plantas aquáticas no período da coleta; (D) Detalhe da região da lagoa que apresenta uma ilha de macrófitas enraizadas emersas permanente..... 32
- Figura 4-** APA de Pandeiros. (A) Vista geral da PCH, alojamentos e a jusante da PCH com a primeira cachoeira; (B) Vista da terceira cachoeira no Balneário da PCH; (C) Ponte existente no balneário. Fotos retiradas do plano de manejo da APA fornecido pelo IEF..... 34
- Figura 5-** Parque Estadual do Rio Preto (PERPreto), visão geral da confluência (chamada de Forquilha cuja área é mais aberta e a correnteza mais leve) do Córrego das Éguas (com leito mais aberto) com o Rio Preto (com vegetação marginal mais densa) (Foto retirada do Google Earth). (A) Detalhe do Rio Preto e a Forquilha; Forquilha (seta azul), com seu leito formado basicamente de areia, e Rio Preto (seta vermelha) mais ao fundo com vegetação marginal mais densa; (B) Córrego das Éguas passando pelo seu leito formado principalmente de lajedos e matacões. Note que a correnteza nestes locais é relativamente fraca aumentando o tempo de permanência da água no sistema. 35
- Figura 6-** Barragem da COPASA em Juramento. (A) Vista geral da barragem inteira; (B) Detalhe da região de coleta na barragem (Fotos A e B retiradas do Google Earth); (C) detalhe do ponto de coleta. Note a água clara e sem presença de plantas aquáticas... 36
- Figura 7-** Visão de Montes Claros com destaque para as Lagoas da Pampulha (marcador rosa) e dos Patos no Parque Municipal (marcador vermelho) (Foto retirada do Google Earth). 38
- Figura 8-** (A) Vista de cima da Lagoa da Pampulha, também Chamada de Lagoa de Interlagos (Foto retirada do Goggle Earth); (B) Detalhe da lagoa no ponto de coleta. A lagoa não possui vegetação marginal apresentando depósito de lixo na sua margem e bocas de lobo para o escoamento de efluentes (C). 38

- Figura 9-** (A) Vista de cima da Lagoa dos Patos no Parque Municipal Milton Lopes, com alguma arborização (Foto retirada do Google Earth); (B) Detalhe da lagoa no ponto de coleta.....39
- Figura 10-** Variação de temperatura em °C em relação a profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente a região de água livre na Lagoa da Prata, a região dominada pelo banco de macrófitas na Lagoa da Prata e a Lagoa dos Patos no Parque Municipal situadas no Norte de Minas Gerais.....46
- Figura 11-** Variação de temperatura em °C em relação à profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente a PCH de Pandeiros, a Lagoa da Pampulha e a barragem da COPASA situadas no Norte de Minas Gerais..47
- Figura 12-** Variação de temperatura em °C em relação à profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente ao Rio Preto, Córrego das Éguas e Forquilha no PERPreto situadas no alto Vale do Jequitinhonha. O rio Pandeiros não foi representado graficamente, pois as variações na temperatura se relacionam apenas ao horário de coleta.....48
- Figura 13-** Variação da alcalinidade em relação ao pH da água ($P < 0,05$). Sistemas com pH maiores possuem alcalinidade também elevada. Esta relação se dá pelo equilíbrio das formas carbonatadas podendo então ser alterado pelos processos de respiração e fotossíntese. Desta forma, pode-se dizer que tanto o pH altera a alcalinidade quanto a alcalinidade altera o pH.....50
- Figura 14-** Variação da Condutividade em relação a alcalinidade ($P < 0,005$). Os íons de carbonatos existentes em sistemas com alcalinidade elevada influenciam os valores de condutividade (expressa quantidade de íons no meio) aumentando-os. Outros íons existentes no meio também podem influenciar nos valores de condutividade, como nutrientes inorgânicos e outros cátions como o cálcio.....50
- Figura 15-** Variação do pH em relação à Concentração de Oxigênio Dissolvido ($P > 0,05$). Apesar de possuírem relação não significativa, observou-se que sistemas que possuem maiores concentrações de OD apresentam pH mais elevados.....52
- Figura 16-** Gráfico de médias do metabolismo líquido diário de dióxido de carbono por Ambiente. Os boxes correspondem aos valores de metabolismo de cada ambiente e as barras correspondem ao erro padrão. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.....54
- Figura 17-** Variação não significativa do Metabolismo líquido diário dos sistemas aquáticos em relação a Profundidade do Disco de Sechi ($P > 0,05$). Entretanto, observa-se uma tendência dos sistemas a apresentarem maior consumo de CO_2 de acordo com maiores profundidades do Disco de Sechi. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.....55

Figura 18- Variação não significativa do Metabolismo líquido diário em relação a alcalinidade dos sistemas ($P > 0,05$). Entretanto observa-se uma tendência dos sistemas autotróficos a apresentarem valores de alcalinidade elevadas. Os pontos representam os valores do metabolismo de C em relação aos valores de alcalinidade. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.56

Figura 19- Variação não significativa do Metabolismo líquido diário em relação a condutividade dos sistemas ($P > 0,05$). Entretanto observa-se uma tendência dos sistemas autotróficos a apresentarem valores de condutividade elevadas. Os pontos representam os valores do metabolismo de C em relação aos valores de alcalinidade.57

Figura 20- Variação do metabolismo de C entre os períodos do ciclo diário. Os períodos I, II, III e IV correspondem aos períodos, respectivamente, 06:00 as 12:00, 12:00 as 18:00, 18:00 as 24:00 e 24:00 as 06:00 horas. Os boxes indicam o metabolismo de C diário líquido médio de todos os sistemas analisados por período. As barras indicam o desvio padrão, ou seja, o quanto os valores deste parâmetro varia. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ambientes e seus respectivos sistemas aquáticos e localizações avaliados neste trabalho	30
Tabela 2- Profundidades totais, profundidades de coleta, data das coletas, temperatura máxima do ar e condição do tempo durante as coletas de cada sistema aquático.....	41
Tabela 3- Parâmetros mensurados e respectivas unidades de referência, equipamentos e métodos	44
Tabela 4- Resultados médios diárias das variáveis analisadas por sistema aquático. Os valores negativos mostram consumo de CO ₂ do sistema e consequentemente captura deste gás atmosférico indicando excesso de produção primária sobre a respiração - metabolismo autotrófico. Os demais resultados com valores positivos indicam liberação deste gás para o meio e atmosfera indicando excesso de respiração sobre a produção primária - metabolismo heterotrófico.....	49
Tabela 5- Balanço de Produção, Consumo e Balanço Total final de CO ₂ em $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ dos sistemas aquáticos avaliados	54

LISTA DE SIGLAS E FÓRMULAS QUÍMICAS

APA: Área de Proteção Ambiental

C: Carbono

Ca^{2+} : Íon Cálcio

CaCO_3 : Carbonato de Cálcio

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$: Bicarbonato de Cálcio

CO_2 : Dióxido de Carbono

$\text{CO}_2\text{ T}$: Dióxido de Carbono total

CO_3^{2-} : Carbonato

CEMIG: Central Energética de Minas Gerais

COPASA: Companhia de Saneamento de Minas Gerais

H_2CO_3 : Ácido Carbônico

HCO_3^- : Bicarbonato

IEF: Instituto Estadual de Florestas

IGA: Instituto de Geociências Aplicadas

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*

$K_{\text{co}2}$: Coeficiente de Transferência

O_2 : Gás Oxigênio

OD: Oxigênio Dissolvido

ONU: Organização das Nações Unidas

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

PEMS: Parque Estadual da Mata Seca

PERPreto: Parque Estadual do Rio Preto

pH: potencial Hidrogeniônico

pK: Coeficiente de Dissociação

PPB: Produção Primária Bruta

R: Respiração do Ecossistema

RCC: *River Continuum Concept*

UC: Unidade de Conservação

V: Velocidade do Vento

Z: Profundidade

1- INTRODUÇÃO

1.1- Considerações iniciais

O processo natural de retenção de calor, conhecido como Efeito Estufa é o responsável e essencial para a manutenção das temperaturas amenas que possibilitam a vida na Terra. Sob condições normais, um balanço delicado existe entre a entrada de energia solar (radiação solar) e a saída desta energia da Terra na forma de luz refletida e calor (radiação infravermelha). Parte do calor é retida na atmosfera pela presença de alguns gases que ocorrem naturalmente e em certas quantidades, como dióxido de carbono, vapor de água, óxido nitroso, metano e ozônio. Normalmente, estes gases são balanceados por ciclos biogeoquímicos que, continuamente, retiram e liberam estes gases para a atmosfera através de processos metabólicos e catabólicos dos ecossistemas fazendo destes, drenos e/ou fontes desses gases. Contudo, no último século, as atividades humanas têm adicionado quantidades anormais destes gases na atmosfera, mais do que os “drenos” são capazes de absorver. Com o aumento nas concentrações atmosféricas desses gases, o equilíbrio natural é quebrado e o efeito estufa entra em desequilíbrio. O resultado é o aquecimento global, um aumento gradual da temperatura média de toda a Terra (Bennaceur *et al.*, 2004).

Desde o século XIX, a média da temperatura da superfície da Terra tem aumentado 0,6°C, o que, de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001), representa a maior taxa de aquecimento para os últimos 1000 anos. As conclusões do IPCC (2001) atribuem especial relevância ao aumento de 30 % nas concentrações de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico desde a Revolução Industrial para explicar esse aquecimento global mais recente. Enquanto o CO₂ possui poder de aquecimento relativamente menor que outros gases do efeito estufa, seu acentuado volume liberado para a atmosfera como sub-produto da queima de combustíveis fósseis torna-o o principal responsável pelo aquecimento global (Bennaceur *et al.*, 2004). Os atuais níveis de 370 ppm desse gás na atmosfera são maiores do que

a variabilidade natural entre 180 a 280 ppm estimada nos últimos 400.000 anos (Kump, 2002). Globalmente, quase 21 bilhões de toneladas.m² de CO₂ foram liberados para a atmosfera. Alguns pesquisadores estimam que as emissões totais de CO₂ de óleo, gás e carvão somarão mais de 35 bilhões de toneladas.m⁻² até 2025 (Benneaceur *et al.*, 2004). Sendo assim, há cada vez mais indícios de que o Efeito Estufa tem sido incontestavelmente acentuado pelas atividades humanas (Kerr, 2006).

O carbono constitui cerca de metade da massa seca da vida na terra e a matéria orgânica que acumula nos solos e sedimentos quando os organismos morrem. Seu papel principal nos processos biogeoquímicos do ecossistema tem sempre sido alvo de interesse dos cientistas (Chapin III *et al.*, 2006). No entanto, em virtude do atual cenário negativo descrito acima, iniciou-se na década passada um debate mundial que culminou na assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997 pela *United Nations Framework Convention on Climate Change*. De acordo com este protocolo os países têm que cumprir uma meta de redução de seus gases de efeito estufa de no mínimo 5% relativas ao ano de 1990 até o período entre 2008 e 2012 (ONU, 1998). Também, como parte deste protocolo, os países podem utilizar o aumento no estoque de carbono pelos ecossistemas como uma forma de alcançar as reduções estipuladas nas emissões de C produzido pela queima de combustíveis fósseis. Como resultado, eles agora têm um forte suporte econômico e político necessário para a compreensão dos controles sobre a entrada e saída de C nos ecossistemas. Assim, muitos cientistas e políticos têm voltado suas atenções para a compreensão das seguintes questões: 1) como o carbono se comporta dentro dos ecossistemas; 2) como os controles biológicos e físicos agem sobre a absorção, seqüestro e liberação do C e; 3) como os ecossistemas influenciam a concentração do dióxido de carbono e a capacidade de captura da atmosfera, *i.e.* na dinâmica do sistema de clima global (Chapin III *et al.*, 2006).

Os ecossistemas aquáticos, continentais e marinhos, cobrem 77% da superfície terrestre e contribuem com mais da metade da produção primária global (Field *et al.*, 1998). Embora esta produção primária sustente cadeias tróficas altamente produtivas, os ambientes aquáticos são

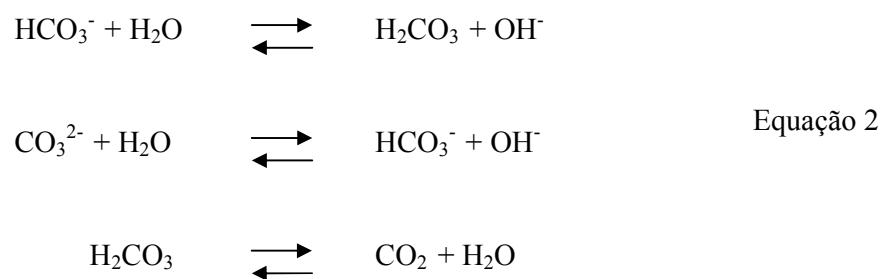
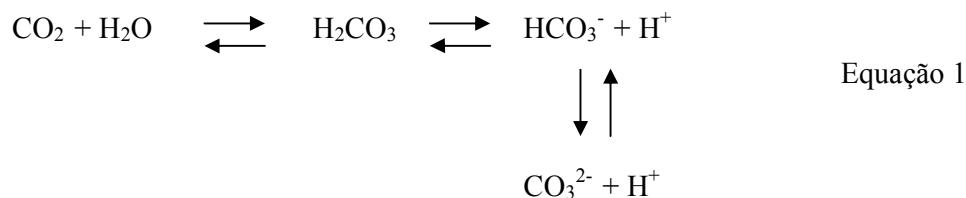
também locais de intenso catabolismo de carbono orgânico originado desta produção interna e de materiais exportados a partir de sistemas terrestres (Cole, 1999; Richey *et al.*, 2002; Cole & Caraco, 2001). Os ecossistemas aquáticos são, no entanto, componentes críticos do metabolismo da biosfera e da troca do CO₂ com a atmosfera (Duarte & Praire, 2005).

1.2- Sistema do CO₂ – Formas de Carbono inorgânico dissolvido, pH e Alcalinidade

De acordo com Carmouze (1994) o CO₂ é o parâmetro mais conveniente do que o O₂ para a caracterização do metabolismo aquático, pois as trocas gasosas, que têm como efeito mascarar os desequilíbrios entre produção e mineralização, são quatro vezes menores para o CO₂ do que para o O₂. Também, o carbono, como mencionado anteriormente, por estar como precursor na produção de biomassa viva e como subproduto na respiração e decomposição da matéria orgânica, torna-se um indicador direto de produção primária e mineralização (Cole, 1994) tanto em condições aeróbicas quanto em condições anaeróbicas. Além disso, o CO₂ é o parâmetro mais indicado quando o objeto de estudo está mais relacionado ao ciclo do carbono e o papel dos ecossistemas aquáticos na captura e/ou liberação deste gás para a atmosfera (Carmouze, 1994). Assim, a produção primária bruta (PPB) corresponde a todo carbono inorgânico fixado pela fotossíntese e a respiração (R) corresponde a toda remineralização do carbono orgânico a CO₂. Desta forma, as variações diárias na concentração do carbono inorgânico podem ser utilizadas para avaliações da atividade biológica líquida das comunidades aquáticas (Pedrosa & Rezende, 2000).

O carbono inorgânico dissolvido existe nos sistemas aquáticos como dióxido de carbono não ionizado, presente tanto como CO₂ quanto como ácido carbônico (H₂CO₃), e como espécies ionizadas, bicarbonato (HCO₃⁻) ou carbonato (CO₃²⁻; Pedrosa & Resende, 2000). O CO₂ que entra nos sistemas aquáticos é proveniente da atmosfera (por difusão ou pela água das chuvas), da decomposição de matéria orgânica alóctone e autóctone, respiração das comunidades

aquáticas e de águas subterrâneas. Deste gás que entra nos sistemas aquáticos com pH menor que 8, parte permanece na forma não hidratada como CO_2 , e parte é hidratada para a forma de ácido carbônico. Estes ácidos carbônicos, sendo ácidos fracos, se dissociam em bicarbonato e íons de hidrogênio diminuindo o pH, um acontecimento comum quando o CO_2 é dissolvido na água. À medida que o ácido carbônico é dissociado em bicarbonato ou é consumido pelos organismos autotróficos e sua proporção em relação ao bicarbonato diminui, aumenta o pH do meio até 8,3, ponto onde a quantidade de bicarbonato é dominante e quase não há ácido carbônico. Acima do pH = 8,3, o bicarbonato passa a se dissociar em carbonato e íons de hidrogênio (Equação 1; Figura 1; Wetzel, 2001; Cole, 1994). Simultaneamente, a fim de estabelecer um equilíbrio entre as formas carbonatadas, o carbonato e bicarbonato hidrolizam formando, respectivamente, bicarbonato e ácido carbônico liberando hidroxilas no meio, elevando o pH do sistema, enquanto o ácido carbônico se dissocia formando dióxido de carbono e água (Equação 2; Wetzel, 2001).



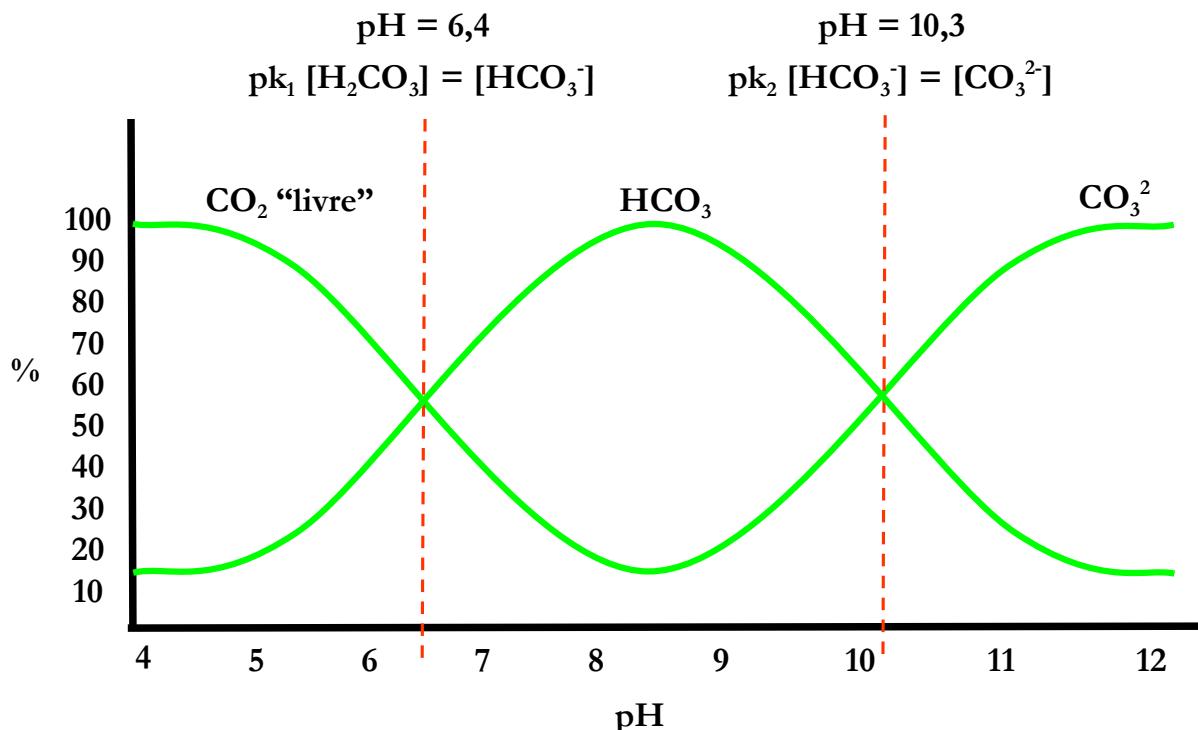
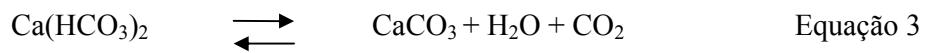


Figura 1- Relação entre pH e as proporções relativas das espécies de carbono inorgânico: CO_2 livre ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$), HCO_3^- e CO_3^{2-} na solução. O pK é o coeficiente de dissolução. No pH 6,4 o pK do ácido carbônico é igual a do bicarbonato significando que neste ponto as duas formas carbonatadas estão em equilíbrio no sistema. No pH 10,3 o pK do bicarbonato é igual a do carbonato significando que neste ponto ambas as formas carbonatadas estão presentes. (Retirado de Wetzel, 2001 e ligeiramente modificado de Golterman, 1969).

As hidroxilas geradas da dissociação das duas primeiras reações da equação 2 geram águas alcalinas nos lagos e rios que possuem um conteúdo naturalmente elevado de carbonatos derivados das águas superficiais e subterrâneas da sua bacia de drenagem. A fotossíntese e a respiração são os principais fatores que influenciam as quantidades de CO_2 na água. Contudo, o equilíbrio das reações apresentadas resulta da ação tamponante de águas alcalinas. Assim, a água tende a resistir mudanças no pH tão logo este equilíbrio esteja operando. Uma adição de íons de hidrogênio neutraliza as hidroxilas formadas pela dissociação do carbonato e bicarbonato, e mais hidroxilas são formadas imediatamente pela reação do carbonato com a água. Consequentemente, o pH permanece inalterado, a menos que o suprimento de carbonatos e bicarbonatos sejam esgotados. Estas reações são controladas pela temperatura e concentração de sais na água que alteram as constantes de dissociação (pK) (Wetzel, 2001).

Assim, a concentração do carbono inorgânico total (soma de todas as formas carbonatadas) em sistemas aquáticos depende do pH o qual é governado pela capacidade tamponante do ácido carbônico e da quantidade de carbonatos e bicarbonatos originados da sedimentação das rochas que também fornecem outros tipos de íons ao meio. Na maioria das águas naturais o CO₂ gasoso ocorre na presença de metais alcalinos e alcalinos terrosos que combinados formam os carbonatos e bicarbonatos mencionados acima. O mais importante carbonato nos sistemas aquáticos é o carbonato de cálcio (CaCO₃). A solubilidade do CO₂ aumenta marcadamente na água que contém carbonato. Uma quantidade definida de CO₂ livre permanecerá nos sistema depois que o equilíbrio é alcançado entre o cálcio, bicarbonato, carbonato e carbonato de cálcio não dissociado. Este excesso de CO₂ (chamado de CO₂ de equilíbrio) é necessário para manter a estabilidade do bicarbonato de cálcio (Ca(HCO₃)₂). Se houver um incremento de CO₂ livre no sistema já em equilíbrio (respiração e decomposição de matéria orgânica) o dióxido de carbono em excesso (ou agressivo) acaba dissolvendo o carbonato de cálcio e diminui o pH do meio. Ao contrário, se este CO₂ de equilíbrio for retirado do sistema (assimilação fotossintética) o carbonato de cálcio precipitará antes que o equilíbrio seja restabelecido pela formação de CO₂ (Equação 3), e haverá um aumento no pH e liberação de Ca²⁺ pelas reações de hidrólise do bicarbonato (Equação 2; Wetzel, 2001; Cole, 1994). O pH de uma água calcária típica é o resultado da taxa de íons de hidrogênio (aumentando a partir das duas dissociações do ácido carbônico) e íons hidroxila (proveniente da hidrólise do carbonato e bicarbonato). Assim, a fotossíntese é importante para as plantas poderem absorver sucessivamente o CO₂, eliminar bicarbonatos, precipitar carbonatos e formar íons hidroxila. Todos estes eventos contribuem para o aumento do pH.



1.3- Metabolismo em sistemas aquáticos

Num ecossistema ocorre continuamente produção de matéria orgânica, pelos processos de fotossíntese, e mineralização de matéria orgânica por meio dos processos de respiração e decomposição (Carmouze *et al.*, 2001). Portanto, estes processos são considerados as vias metabólicas mais importantes nos ecossistemas aquáticos (Cole *et al.*, 2000). O estado metabólico de um ecossistema representa o balanço entre a produção primária bruta (PPB) e a respiração total das comunidades (R) (Raymond *et al.*, 2000). Este conceito de metabolismo foi proposto na metade do século passado como um descritor poderoso e sintético do funcionamento do ecossistema (Odum, 1956). Logo, o metabolismo total de um ecossistema é igual à diferença entre o quanto é produzido e o quanto é consumido ou respirado (Thomaz *et al.*, 2001).

Em uma escala de 24 horas, geralmente, em presença de radiação fotossintética a produção líquida de matéria orgânica tem por efeito provocar uma diminuição de CO₂ e aumento de O₂ nas águas, enquanto que a noite, na ausência destas radiações, a mineralização produz uma inversão nas concentrações destes gases. Portanto no início do dia, pode-se prever uma supersaturação das águas em CO₂ e uma subsaturação em O₂ e ao final do dia situação inversa. As trocas gasosas na interface ar-água tendem a reduzir estas variações nictimerais de sub e supersaturação (Carmouze, 1994). O balanço dos processos metabólicos aquáticos gera desequilíbrios gasosos em relação à atmosfera, o que pode, no entanto, oferecer indicações de prevalência de auto ou heterotrofia. Sistemas cuja razão PPB/R > 1 possuem um metabolismo autotrófico, com captura de CO₂ para a realização de processos fotossintéticos, agindo então como drenos líquidos deste gás atmosférico. Logo, sistemas cuja razão PPB/R < 1 possuem metabolismo heterotrófico, em que, pelas atividades de degradação da matéria orgânica, remineralizam o CO₂ liberando-o para o meio e agindo como fonte líquida deste gás para a atmosfera (Carmouze *et al.*, 1991; Duarte & Praire, 2005; Raymond *et al.*, 2000). Assim, a simples medida do grau de saturação das águas de CO₂ e/ou O₂, permite caracterizar o traço autotrófico ou heterotrófico do sistema (Duarte & Praire, 2005).

As condições ambientais, os recursos e a composição de espécies que alteram a PPB e a R também podem determinar o metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de CO₂ entre os sistemas aquáticos e a atmosfera. Ambientes com maior penetração luminosa e maior entrada de nutrientes inorgânicos estabelece uma produção primária maior que a respiração, e a entrada de matéria orgânica alóctone estabelece o metabolismo heterotrófico (Marotta, 2006; Duarte & Augusti, 1998).

Especialmente nos últimos anos muitos trabalhos têm sido realizados a fim de avaliar a produção e respiração dos sistemas aquáticos e sua variação em escalas diárias e, mais comumente, em escalas sazonais e anuais (*i. e.* Pedrosa & Rezende, 2000; Raymond *et al.*, 2000; Neue *et al.*, 1997; Thomaz *et al.*, 2001). Na sua grande maioria os trabalhos apontam metabolismo heterotrófico predominante nos sistemas aquáticos e passam a descrever com maior ênfase a importância do aporte de carbono orgânico terrestre para sustentar este metabolismo (Marotta, 2006; Cole *et al.*, 2007; Duarte & Praire, 2005). Numa análise global, Cole *et al.* (2007) mostraram que grande parte do C liberado dos sistemas aquáticos é proveniente da matéria orgânica terrestre respirada dentro destes. O mesmo foi sugerido por Duarte & Praire (2005) em sua revisão de diversos estudos sobre metabolismo aquático de ecossistemas marinhos e águas continentais. De acordo com estes autores sistemas heterotróficos líquidos são mais comuns que sistemas autotróficos devido a suas comunidades predominantemente heterotróficas. Eles também afirmam que o heterotrofismo destes sistemas é decorrente das significantes entradas de carbono orgânico de sistemas adjacentes, ressaltando o importante papel das trocas laterais de carbono entre os ecossistemas terrestres e aquáticos. Raymond *et al.* (1997) encontraram metabolismo heterotrófico no Rio Hudson, Nova York, liberando 70 a 162 g C.m⁻².d⁻¹ para a atmosfera e afirmaram que grandes rios tendem a ser heterotróficos líquidos. Eles também encontraram acentuação deste heterotrofismo no verão. Raymond *et al.* (2000) também encontraram heterotrofismo líquido no estuário do York River na Virginia de 100 g C.m⁻².y⁻¹. Duarte & Augusti (1998) mostraram que sistemas aquáticos improdutivos são altamente

dependentes da entrada alóctone de matéria orgânica para sustentar sua biota, preferencialmente heterotrófica, e que sistemas altamente produtivos possuem uma taxa de respiração também elevada, mas possuem metabolismo autotrófico dependendo então da entrada de grandes cargas de nutrientes inorgânicos. Estes autores estimaram que 39% dos ecossistemas lênticos e 45% dos ecossistemas lóticos apresentam metabolismo heterotrófico líquido. Caraco & Cole (2004) examinaram a magnitude relativa dos suportes alóctones e autóctones ao metabolismo aquático em lagos e rios e propuseram um modelo que sugere a heterotrofia líquida como caso mais prevalente em lagos e rios e que o carbono orgânico alóctone é respirado mais rápido em rios do que em lagos.

No Brasil, alguns estudos mostraram um padrão semelhante de predominância do heterotrofismo líquido. Richey *et al.* (2002) ao avaliar o metabolismo da rede de drenagem da bacia Amazônica, cujo metabolismo aquático mostrou-se heterotrófico sendo que 80% do CO₂ liberado para a atmosfera é originado da decomposição de matéria orgânica alóctone. Ballester & Santos (2001), avaliando o metabolismo de duas lagoas e do rio da bacia do Rio Mogi-Guaçu, mostraram a predominância do heterotrofismo nos três sistemas estudados especialmente no período de chuvas onde há maior aporte de matéria orgânica para os sistemas. Carmouze *et al.* (1991) encontraram grandes variações nos ciclos diários de duas lagoas conectadas no Rio de Janeiro em relação a produção e respiração, mas ocorrendo de maneira padronizada dentro de escalas de tempo sazonais. De acordo com estes autores o heterotrofismo foi predominante nos períodos de baixa atividade biológica (inverno) onde as águas se encontravam supersaturadas de CO₂ em relação à atmosfera, enquanto que nos períodos de alta atividade biológica (verão e outono) estas apresentaram subsaturação de CO₂ mostrando metabolismo autotrófico. Estes autores relacionaram seus resultados à maior disponibilidade de luz no verão pelo maior comprimento do dia e o inverso no inverno. Em escala anual, estes mesmos autores sugerem um balanço entre autotrofismo e heterotrofismo. Thomaz *et al.* (2001), avaliando o metabolismo aquático de duas lagoas costeiras num ciclo diário relataram a ocorrência de autotrofismo na

lagoa de água mais clara e pouca entrada de matéria orgânica alóctone e heterotrofismo na lagoa de água mais escura e oligotrófica.

2- OBJETIVO

Apesar dos estudos sobre metabolismo aquático terem seu inicio marcado pelo trabalho de Odum (1956), são poucos os estudos referentes a este assunto até o momento. Nos sistemas aquáticos tropicais, os estudos sobre metabolismo são ainda mais raros, apesar desses ecossistemas apresentarem importante representatividade em escala global (Dowing *et al.* 2006) e expressivas peculiaridades como alta incidência solar e temperatura ao longo de todo o ano. Desta forma, existem muitas lacunas a serem analisadas, como por exemplo, os principais reguladores do metabolismo dos ecossistemas aquáticos marinhos e continentais e as variações ambientais que interferem neste metabolismo (Marotta, 2006). Além disso, diferentes escalas de tempo (diário, sazonal e anual) utilizadas para estimar o metabolismo aquático impedem que maiores generalizações sejam feitas (Carmouze *et al.*, 1991). Entre as regiões brasileiras as diferenças ambientais, como temperatura, pluviosidade, composição nutricional dos solos e composição vegetal, são marcantes podendo, assim, resultar em diferentes condições metabólicas de sistemas aquáticos.

Nenhum trabalho desta natureza foi realizado até o momento na região norte de Minas Gerais. Esta é uma região de ecótono onde, observa-se a transição de diferentes biomas como cerrado, caatinga, campos rupestres e mata atlântica. Além disso, diferente das demais regiões do sudeste de Minas Gerais, esta é uma região com temperaturas mais elevadas e índices menores de pluviosidade. Estas e outras variações ambientais podem levar a uma condição metabólica diferente das encontradas em outros sistemas aquáticos até o momento.

Desta forma, com base nas variações diárias das concentrações de CO₂ total este trabalho realizou estimativas do metabolismo nictimeral de diferentes sistemas aquáticos encontrados no norte de Minas Gerais e infere sobre seu papel no seqüestro de carbono, ou seja, se estes ambientes agem como fontes ou drenos de CO₂ para a atmosfera. Sob a luz dos trabalhos

anteriormente relatados no Brasil e no mundo, este estudo testa a hipótese de que sistemas aquáticos, em geral, possuem metabolismo heterotrófico, sendo fontes de CO₂ para a atmosfera. Especificamente, o trabalho pretende:

- 1- Caracterizar a variação do CO₂T dissolvido num ciclo diário em 7 sistemas aquáticos norte mineiros e 3 sistemas aquáticos do alto Vale do Jequitinhonha, MG;
- 2- Verificar se sistemas de rios, reservatórios e lagoas possuem metabolismo de C distinto;
- 3- Determinar o metabolismo líquido diário de uma forma global dos sistemas aquáticos do norte e Vale do Jequitinhonha;
- 4- Dar subsídios para estudos futuros voltados ao metabolismo dos ecossistemas aquáticos norte – mineiros e seus reguladores

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Área de Estudo

Para avaliar o metabolismo dos sistemas aquáticos continentais, o estudo foi realizado em três ambientes - Lagoas, Reservatórios e Rios - representados por sistemas com características ambientais e de funcionamento distintas. Para isto foram selecionados três sistemas de Lagoa, três de Reservatórios e quatro de Rio (Tabela 1). Nos ambientes de Lagos, avaliou-se a Lagoa da Prata no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS) e a Lagoa do Parque Municipal, área urbana de Montes Claros. Para os ambientes de Represa os sistemas avaliados foram a barragem da COPASA no Município de Juramento, a Lagoa de Interlagos, também na região urbana de Montes Claros, e a barragem da Pequena Central Hidroelétrica da CEMIG no Rio Pandeiros inserida na APA de Pandeiros. Por fim, representando o ambiente lótico (Rio e Córrego), foram avaliados o Rio Pandeiros e três sistemas da bacia do Rio Preto inseridos na área de proteção do Parque Estadual do Rio Preto (PERPreto) - o Rio Preto, o Córrego das Éguas e a Forquilha (Fig. 2). Estes sistemas foram selecionados a fim de representar os diferentes ambientes, as diferentes condições ambientais, físicas e biológicas e aos impactos a que estão expostos.

Os sistemas aqui estudados, por estarem localizados na região Norte de Minas Gerais e Vale do Jequitinhonha, encontram-se sob domínio climático seco sub-úmido e semi-árido caracterizado, principalmente, por duas estações distintas; uma quente e úmida que ocorre no período de Outubro a Março e outra seca e fria, no período de Abril a Setembro. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C (PEMS) e 19°C (PERPreto). Nesta região a composição vegetal predominante é o cerrado e suas variações e caatinga.

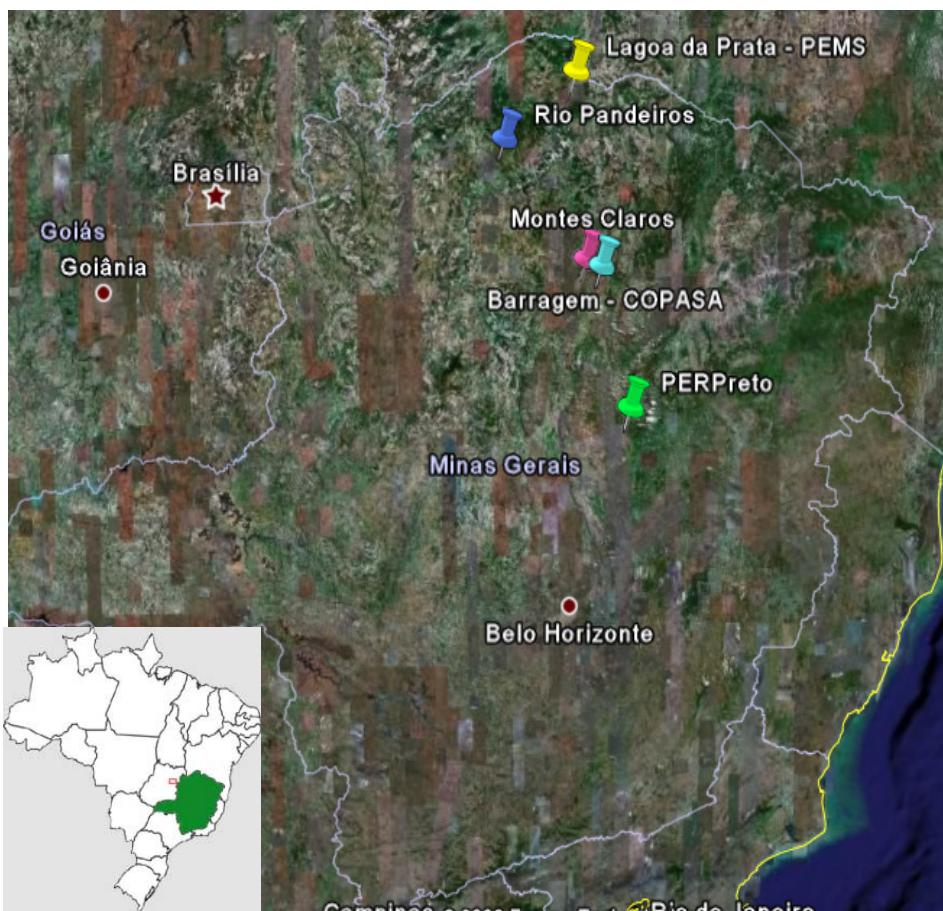


Figura 2- Mapa de Minas Gerais mostrando a localização das regiões analisadas neste estudo. Os marcadores, amarelo, azul escuro, rosa, azul claro e verde mostram, respectivamente, a localização do PEMS, Rio Pandeiros, Montes Claros, barragem da COPASA e PERPreto.

Tabela 1 – Ambientes e seus respectivos sistemas aquáticos e localizações avaliados neste trabalho.

AMBIENTE	LOCAL	LOCALIZAÇÃO
Lagoa	Lagoa da Prata (PEMS) – região de água livre	14°51'S/43°56'W
	Lagoa da Prata (PEMS) – banco de macrófitas	14°51'S /43°56'W
	Lagoa dos Patos – Parque Municipal de Montes Claros	16°42'S /43°50'W
Represa	Barragem da COPASA	16°46'S/43°39'W
	Lagoa de Interlagos – Montes Claros	16°54'S /43°53'W
	PCH – APA Pandeiros	15°28'S/44°44'W
Rio	Rio Pandeiros - Balneário	15°31'S/44°44'W
	Rio Preto (PERPreto)	18°08'13.29"S/43°20'13.93"W
	Córrego da Éguas (PERPreto)	18°08'11.53"S/43°20'19.07"W
	Forquilha (PERPreto)	18°08'11.15"S/43°20'15.11"W

Em Minas Gerais, o PEMs é a única unidade de conservação na margem esquerda do rio São Francisco que possui matas secas em solo não-cárstico (chamada também de caatinga arbórea) e mata ciliar pouco preservada (IEF, 2000). A cobertura vegetal da área é composta por formações distintas, predominantemente caducifólias, inserindo-se na ampla faixa transicional entre os domínios do cerrado e da caatinga. Sua temperatura média anual é de 24°C e o índice pluviométrico é de 871 mm. O histórico de uso antrópico do PEMs inclui o estabelecimento de dois pivôs centrais para o cultivo de feijão e milho e formação de pastagens para criação de gado. Além disso, a margem do São Francisco dentro do PEMs localizada em frente ao município de Matias Cardoso está ocupada como ponto de apoio à pesca (Fig. 3, A). Desta forma, existem assentamentos ilegais dentro do parque, acarretando o desmatamento das matas ciliares do Rio São Francisco nestas áreas. Neste parque o estudo foi realizado na maior das quatro lagoas existentes, a Lagoa da Prata. O conjunto destas lagoas e o Rio São Francisco formam um sistema de pulso de inundação, onde estas se conectam ao rio no período de cheia. Na Lagoa da Prata, dois locais foram destacados para o estudo: uma região predominantemente livre de plantas aquáticas ($14^{\circ}51'13,73''S/43^{\circ}56'21.47''W$) e outra, permanentemente, dominada por banco de macrófitas enraizadas emersas ($14^{\circ}51'35.61''S/43^{\circ}56'44.67''W$) (Fig. 3, B, C e D). Estes dois locais serão analisados como diferentes sistemas. A heterogeneidade horizontal das variáveis químicas e físicas em sistemas lênticos tem sido mostrada em diversos trabalhos (*i. e.* Mercante & Bicudo, 1996; Esteves & Nogueira, 1995). As ilhas formadas por plantas aquáticas, principalmente flutuantes e enraizadas emersas, são apontadas como principais responsáveis por esta compartmentalização horizontal afetando assim o metabolismo no seu local de ocorrência (Esteves & Nogueira, 1995).

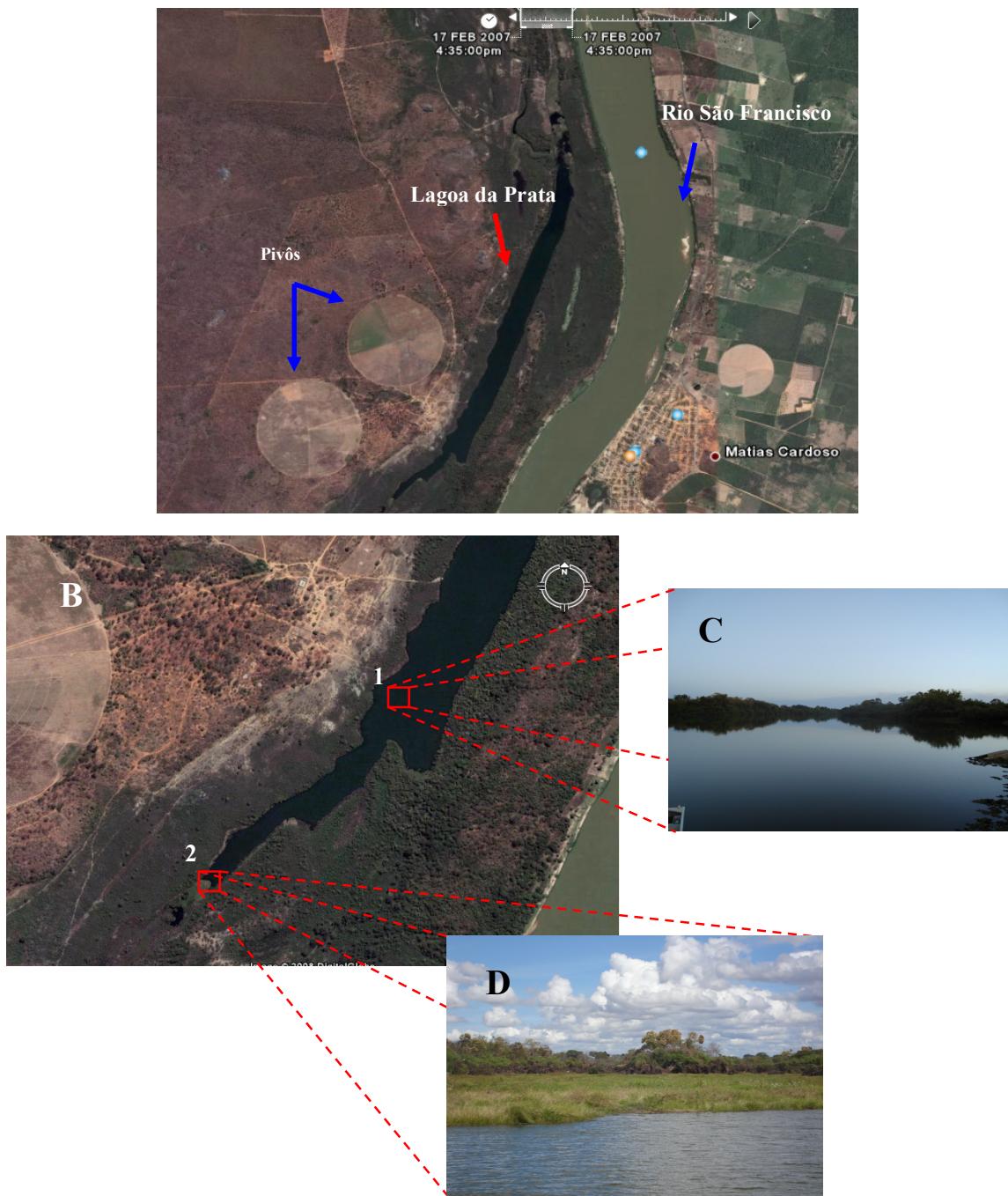


Figura 3- (A) Lagoa da Prata no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS) vista de cima a esquerda do Rio São Francisco; a seta vermelha aponta a Lagoa da Prata. Observa-se também os dois pivôs existentes no parque. **(B)** Região da Lagoa onde as coletas foram realizadas sendo que (1) indica a região de água livre e (2) indica o banco de macrófitas; **(C)** Detalhe do local da lagoa cuja lâmina d'água se mostrou permanentemente livre da ocorrência de plantas aquáticas no período da coleta; **(D)** Detalhe da região da lagoa que apresenta uma ilha de macrófitas enraizadas permanentemente.

O Ribeirão Pandeiros é um dos principais afluentes da margem esquerda do São Francisco, com aproximadamente 150 km de extensão. Nasce na comunidade de Larga, em Várzea Bonita, com o nome de Córrego Suçuarana, e adquire volume à medida que recebe seus afluentes: o Córrego Catolé, os Riachos Borrachudo e Macaúbas, dentre outros, até chegar ao Refúgio de Vida Silvestre, na localidade de Pandeiros. Pandeiros é um dos principais distritos de Januária, situado na região central do município, onde foi construída em 1957 pela CEMIG, uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) com três turbinas para geração local de energia, seus respectivos equipamentos e alojamentos.

É uma região de relevo predominantemente plano com solos areníticos contendo argila e calcário. A paisagem é composta por vegetação de cerrado, veredas e mata ciliar. A região sofre inúmeros impactos antrópicos como o desmatamento para agricultura, formação de pastagens e carvogamento. Este desmatamento descontrolado resulta no assoreamento do rio, processo agravado pela baixa declividade do relevo e retirada da água para irrigação das lavouras resultando na diminuição do volume do rio. Esta redução na oferta hídrica é observada pela diminuição da capacidade de geração de energia da PCH, que hoje utiliza apenas uma das três turbinas. Além disto, por ser uma região de população carente, não existe saneamento básico. Assim observa-se a utilização do rio para abastecimento doméstico e despejo de efluentes domésticos. A jusante do reservatório estão as três cachoeiras do Ribeirão Pandeiros, que segue seu curso até atingir o pântano, e em seguida, percorre 1,5 km até desaguar no Rio São Francisco (IGA, 2006). O estudo foi realizado no médio curso, na barragem da PCH da CEMIG ($15^{\circ}28'12,9''S/44^{\circ}44'38,8''W$) e no baixo curso no Balneário da Usina Pandeiros ($15^{\circ}31'31,2''S/44^{\circ}44'31,2''W$), cuja cachoeira é a mais visitada pelas populações locais e turistas (Fig. 4, A, B e C).



Figura 4- APA de Pandeiros. (A) Vista geral da PCH, alojamentos e a jusante da PCH com a primeira cachoeira; (B) Vista da terceira cachoeira no Balneário da PCH; (C) Ponte existente no balneário. Fotos retiradas do plano de manejo da APA fornecido pelo IEF.

O Parque Estadual do Rio Preto pertence ao município de São Gonçalo do Rio Preto e faz limite com mais dois municípios - Felício dos Santos (leste) e Couto de Magalhães de Minas (sul e oeste). Foi criado em 1994 e hoje possui uma área total de 12.184 ha. Geograficamente está inserido no complexo da Serra do Espinhaço, região alta do Vale do Jequitinhonha, e suas formações geológicas são características deste sistema com presença de diversos afloramentos rochosos. A região é formada por rochas quartizíticas e arenitos com solos arenosos, rasos e pobres em nutrientes. A vegetação é predominante de cerrado e mata ciliar. O principal componente hídrico do Parque é o Rio Preto, cujas nascentes estão localizadas em seu interior. Este rio corre por um canal irregular e apertado com fundo arenoso e plano intercalando com fundo arenoso e rochoso. O principal afluente é o Córrego das Éguas, também com nascentes

localizadas nos limites da UC. Diferente do Rio Preto, o canal do Córrego das Éguas é mais aberto com fundo predominantemente rochoso com fragmentos de regiões arenosas. Abos os rios possuem relevo plano com deníveis abruptos que resultam em porções dos rios formando grandes poços com águas de correnteza bastante reduzidas e cachoeiras (IEF, 2004). Dentre os demais sistemas avaliados neste estudo, este é considerado o de melhor estado de conservação. No PERPreto o presente estudo abrangeu o Córrego das Éguas, o Rio Preto e a Forquilha, local de confluência do Córrego das Éguas no Rio Preto (Fig. 5, A e B) .

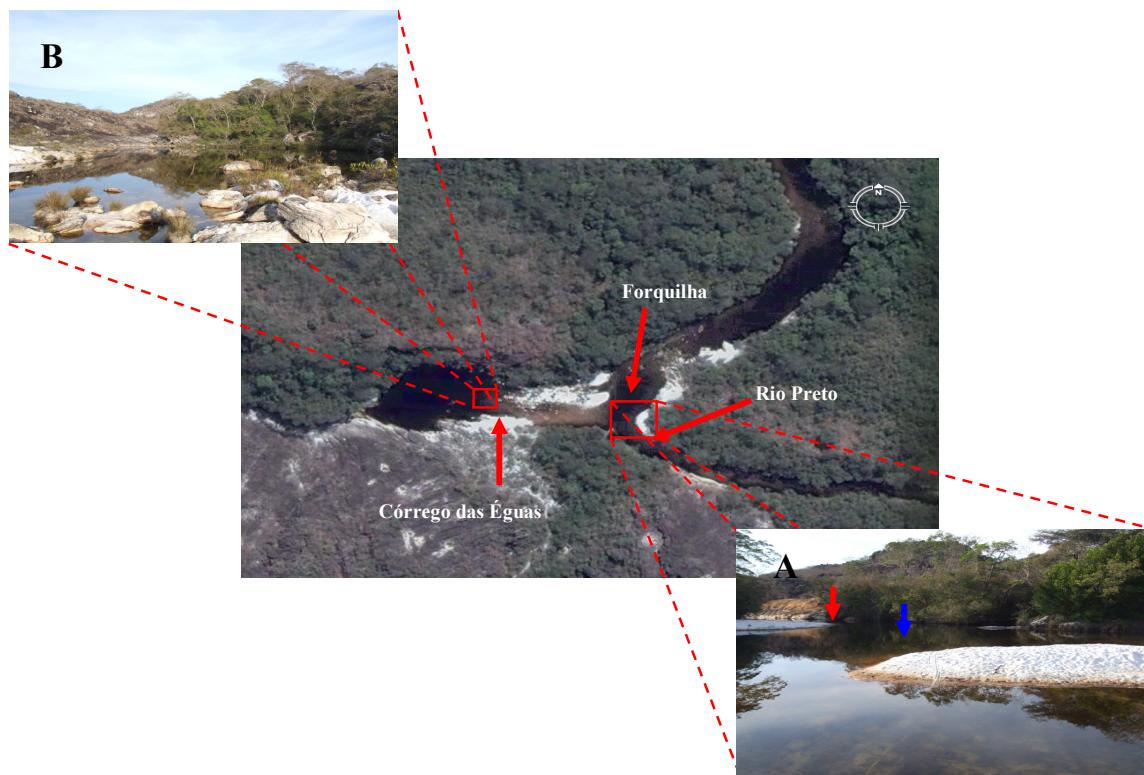


Figura 5- Parque Estadual do Rio Preto (PERPreto), visão geral da confluência (chamada de Forquilha cuja área é mais aberta e a correnteza mais leve) do Córrego das Éguas (com leito mais aberto) com o Rio Preto (com vegetação marginal mais densa) (Foto retirada do Google Earth). (A) Detalhe do Rio Preto e a Forquilha; Forquilha (seta azul), com seu leito formado basicamente de areia, e Rio Preto (seta vermelha) mais ao fundo com vegetação marginal mais densa; (B) Córrego das Éguas passando pelo seu leito formado principalmente de lajedos e matacões. Note que a correnteza nestes locais é relativamente fraca aumentando o tempo de permanência da água no sistema.

Outro sistema avaliado foi a barragem da COPASA ($16^{\circ}46'18,6''S/43^{\circ}39'52,2''W$) do município de Juramento. A barragem de captação e regularização do Rio Juramento, afluente da

margem direita do Rio Verde Grande, localiza-se aproximadamente a 27 Km da cidade de Montes Claros. Foi construída pela COPASA/MG, no início da década de 1980, para complementação do abastecimento de água da Cidade de Montes Claros. A bacia contribuinte ao reservatório drena uma área total aproximada de 330 Km², sendo os rios Juramento, Saracura e o Córrego Canoas os seus tributários mais significativos. A região do reservatório insere-se em um contexto geológico caracterizado por um domínio cárstico, que é a bacia do Rio Verde Grande, com a presença de muitos sumidouros e ressurgências de água subterrânea. Esta barragem possui vazão média anual regularizada de 1,30 m³.s⁻¹, área máxima de inundação de 7,63 Km² e profundidade máxima de 30,0 m (Neto *et al.* 2001, Fig. 6).

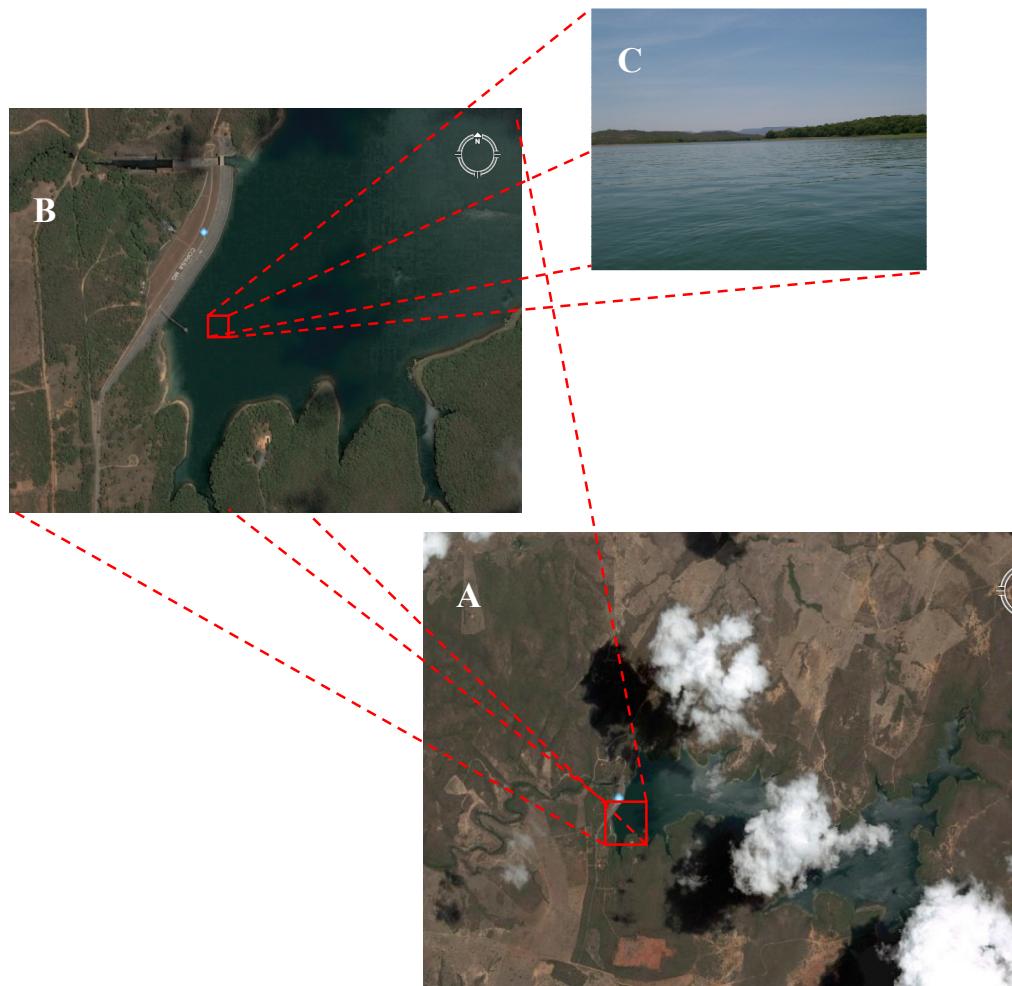


Figura 6- Barragem da COPASA em Juramento. (A) Vista geral da barragem inteira; (B) Detalhe da região de coleta na barragem (Fotos A e B retiradas do Google Earth); (C) detalhe do ponto de coleta. Note a água clara e sem presença de plantas aquáticas.

Por fim, o presente estudo avalia o metabolismo de sistemas aquáticos urbanos de Montes Claros (Fig. 7). Um destes sistemas é o Lago Norte ($16^{\circ}54'14''S$ / $43^{\circ}53'01''W$), assim denominando pela Prefeitura Municipal de Montes Claros e pela COPASA, e conhecido pela população montes-clarense como Lagoa Interlagos ou Lagoa da Pampulha. A Lagoa Interlagos se originou no represamento do Córrego Melancias a montante da confluência com o Córrego Cintra, seu afluente da margem esquerda (Fig 8, A e B). Esse barramento foi construído pela prefeitura visando à formação de um ambiente lacustre, a fim de proporcionar conforto paisagístico, contribuir para o aumento da umidade relativa do ar e criar espaço de lazer e ocupação residencial em torno de um espelho d'água que possui perímetro de 2,5 Km e área de 220 Km^2 . Sua profundidade era aproximadamente 5m quando construída, tendo hoje 1,5 m. (COPASA, 1993). No tocante à poluição das águas da Lagoa Interlagos, observa-se ser ela decorrente do lixo produzido pela população e pelos empreendimentos econômicos ali instalados, que é depositado em suas águas. Além disso, os resíduos gerados pelas construções também contribuem para o aterro da nascente do Córrego Melancias, considerado um dos responsáveis pelo abastecimento da lagoa. Deve-se salientar que a lagoa se situa na parte a jusante da bacia do Córrego Melancias, com isso os esgotos recebidos por essa bacia atingem a lagoa Interlagos. Tendo em vista sua característica de curso d'água temporária, o rio Melancias se transformou num canal de escoamento de esgotos sanitários a céu aberto. Ele recebe sedimentos através do escoamento superficial, que ocorre principalmente na estação chuvosa, o que leva a um rápido processo de assoreamento do talvegue do córrego (França, 2008).

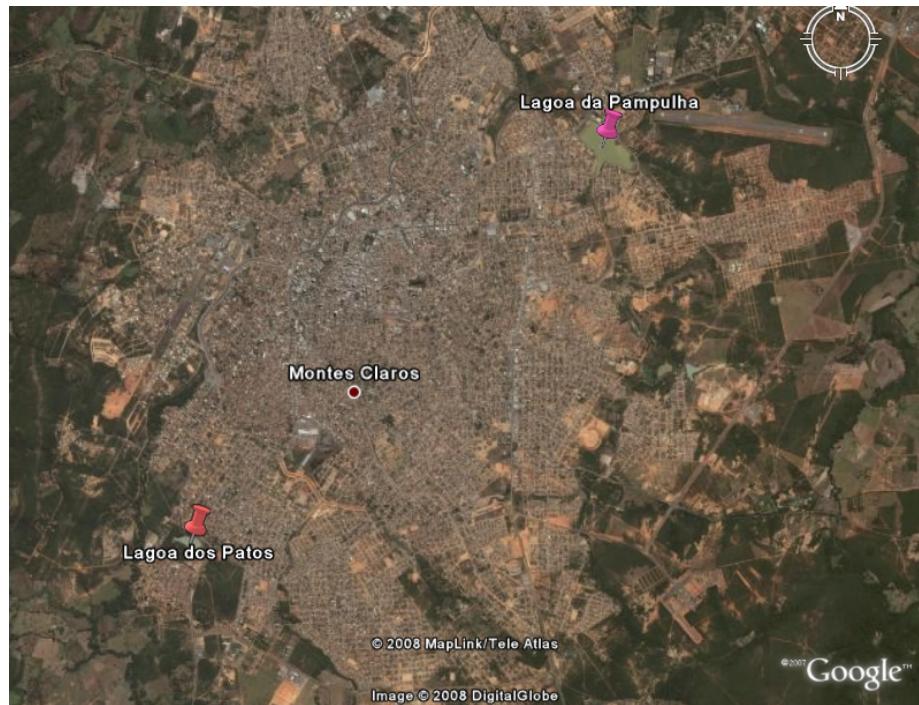


Figura 7- Visão de Montes Claros com destaque para as Lagoas da Pampulha (marcador rosa) e dos Patos no Parque Municipal (marcador vermelho) (Foto retirada do Google Earth).



Figura 8- (A) Vista de cima da Lagoa da Pampulha, também Chamada de Lagoa de Interlagos (Foto retirada do Goggle Earth); (B) Detalhe da lagoa no ponto de coleta. A lagoa não possui vegetação marginal apresentando depósito de lixo na sua margem e bocas de lobo para o escoamento de efluentes (C).

Outro sistema aquático urbano de Montes Claros avaliado, foi a Lagoa dos Patos, localizada no Parque Municipal Milton Lopes nas coordenadas 16°42'32" S e 43°50'07" W. Esta é utilizada para fins paisagísticos e recreação (pedalinho) e possui perímetro de 1,1 Km e profundidade máxima de 1m. Ela é abastecida pelo Córrego Carrapato, o qual recebe efluentes domésticos ao longo de seu curso. Outros dados sobre estas lagoas não foram obtidos até o momento segundo responsáveis da prefeitura deste município (Fig. 9).

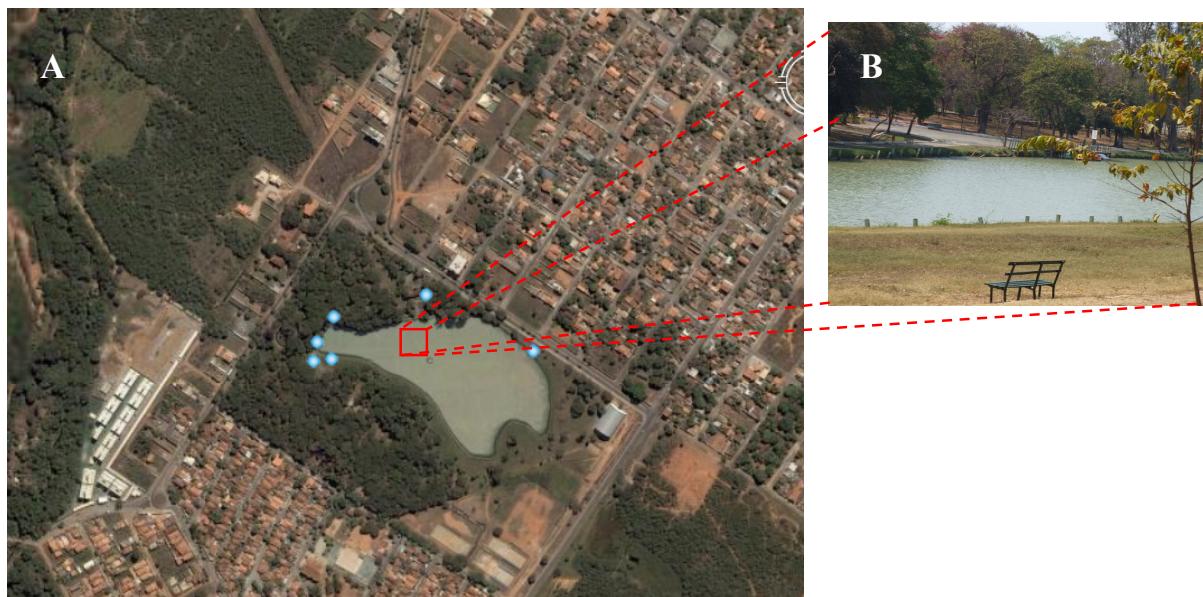


Figura 9- (A) Vista de cima da Lagoa dos Patos no Parque Municipal Milton Lopes, com alguma arborização (Foto retirada do Goggle Earth); (B) Detalhe da lagoa no ponto de coleta.

3.2- Metodologia

O método utilizado para medir o metabolismo dos sistemas foi de acordo com a técnica de “água livre” (Odum, 1956). Esta técnica é baseada em estimativas diárias das concentrações de dióxido de carbono total e oxigênio dissolvido. As variações do conteúdo de CO₂ total e O₂ nas águas, $\Delta\text{CO}_{2\text{T}}$ e ΔO_2 , são controladas não só pelos processos biológicos, $\Delta(\text{CO}_{2\text{T}})_{\text{biol}}$ e $\Delta(\text{O}_2)_{\text{biol}}$, como também pelos processos de difusão destes dois gases na interface água-atmosfera. Portanto, deve-se fazer uma estimativa dos fluxos de difusão para calcular as taxas de produção e de mineralização, a partir das variações dos teores de CO₂ e O₂ na água (Carmouze,

1994). Esta técnica foi utilizada em outros trabalhos oferecendo resultados satisfatórios (Thomaz *et al.*, 2001; Carmouze *et al.*, 1991).

A determinação das taxas de produção líquida ($\Delta(\text{CO}_{2T}) < 0$) e mineralização líquida ($\Delta(\text{CO}_{2T})_{\text{biol}} > 0$), por um período determinado, é igual a diferença entre as variações dos conteúdos da coluna de água em CO_{2T} , $\Delta(\text{CO}_{2T})$ e os fluxos líquidos das trocas de CO_2 , na interface água - atmosfera $\Delta(\text{CO}_{2T})_{\text{atm}}$ durante este período (Carmouze, 1994):

$$\Delta(\text{CO}_{2T})_{\text{biol}} = \Delta(\text{CO}_{2T}) - \Delta(\text{CO}_{2T})_{\text{atm}} \quad \text{Equação 4}$$

O intervalo de tempo para medir a atividade biológica é baseado num ciclo diário, ou nictimeral. Carmouze *et al.* (1991) mostraram que as variações na temperatura, luminosidade e fenômenos climáticos rápidos, característicos das regiões tropicais, são os principais responsáveis pelas variações do metabolismo aquático entre os ciclos diários. Desta forma, em regiões tropicais, a compreensão do metabolismo aquático nictimeral possui importância mais expressiva.

Assim, amostras de água foram coletadas nas porções centrais de cada sistema nos horários de 06:00, 12:00, 18:00, 24:00 e 06:00 horas completando o ciclo de 24h no período de Julho a Novembro de 2007. De acordo com Peterson (1955) e Quay *et al.* (1986) mudanças na porção central dos sistemas aquáticos eram representativos para o sistema como um todo. As amostras de água foram coletadas da superfície e da coluna de água (Carmouze, 1994) com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn. As profundidades de coleta destas amostras variavam de acordo com a profundidade total de cada sistema. As profundidades totais, profundidades de coleta, data das coletas e condição climática para cada sistema estão descrimadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Profundidades totais, profundidades de coleta, data das coletas, temperatura máxima do ar e condição do tempo durante as coletas de cada sistema aquático

Local	Profundidade do Sistema (m)	Profundidades de Coleta (m)	Data das Coletas	Temperatura máxima do ar (°C)	Condição do Tempo
Lagoa da Prata (PEMS) – Região livre de plantas aquáticas	3,30	0,0; 1,5 e 2,5	11/07/2007	28.63	Claro com sol
Lagoa da Prata (PEMS) – Banco de Macrófitas	1,80	0,0 e 1,0	13/07/2007	29.63	Claro com sol
Lagoa dos Patos – Parque Municipal	0,70	0,0 e 0,5	28/08/2007	30.82	Claro com sol
Lagoa Interlagos	2,40	0,0; 1,0 e 2,0	30/08/2007	24.65	Claro com sol
Barragem de Juramento – COPASA	20,50	0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 14,0; 16,0; 18,0 e 20,0	11/10/2007	30.4	Claro com sol
Pandeiros – PCH	2,30	0,0; 1,0 e 2,0	18/08/2007	27.24	Claro com sol
Pandeiros – Balneário	1,10	0,0	18/08/2007	26.44	Claro com sol
Rio Preto (PERPreto)	0,90	0,0 e 0,5	22/09/2007	28.43	Claro com sol
Córrego das Éguas (PERPreto)	1,60	0,0 e 1,0	22/09/2007	28.43	Claro com sol
Forquilha (PERPreto)	2,20	0,0; 1,0 e 2,0	22/09/2007	28.43	Claro com sol

De acordo com este autor as taxas de produção e mineralização são expressas por unidade de superfície com a finalidade de comparar o metabolismo de ecossistemas independente de suas profundidades (Z). Assim os valores de (CO_{2T}) representam as quantidades de CO_{2T} no volume da coluna de água de secção igual a $1\ m^2$ e de profundidade Z. Logo, a concentrações de CO_{2T} é a concentração média, obtida por integração numérica a partir de dados de perfis verticais.

Como mencionado anteriormente, entre os intervalos de coleta (tempo inicial e tempo final) pode ocorrer deslocamento de massas de água nos pontos avaliados. Neste caso, o uso da alcalinidade para calcular o $(CO_{2T})_{inicial}$ e o $(CO_{2T})_{final}$ é recomendável. Assim evita-se a introdução de uma variação suplementar de ΔCO_{2T} proveniente das mudanças das características da massa de água (Carmouze, 1994). Para a determinação da alcalinidade, as amostras de água foram submetidas ao método de titulação de Gran com adição de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,01 N. As variações no pH da amostra de acordo com o volume de ácido adicionado foram registradas e assim o cálculo da alcalinidade foi realizado com o auxílio do programa (ALCAGRAN). Com os valores de alcalinidade, pH e temperatura das amostras realizou-se o cálculo dos valores de CO_{2T} , utilizando-se o programa CARBDOCE, para cada profundidade em cada horário. Para as amostras de superfície foram calculadas também o CO_{2T} de equilíbrio ajustando o valor do pH da amostra até que o grau de saturação alcance-se 100%. Este CO_{2T} de equilíbrio é necessário para calcular o fluxo de difusão de CO_2 na interface água-atmosfera por período. Também é necessário o valor do coeficiente de transferência do dióxido de carbono (K_{CO_2}) que se mostra independente da velocidade do vento desde que este não deforme significativamente o espelho de água pela formação de ondas. Para isto as velocidades do vento precisam ser inferiores a $5\ m.s^{-1}$. Caso contrário o K_{CO_2} varia proporcionalmente a V^2 . Assim:

$$V < 5\ m.s^{-1}, \quad K_{CO_2} = 0.008\ m.h^{-1}$$

$$V > 5\ m.s^{-1}, \quad K_{CO_2} = 9,5 \times 10^{-4} \times V^2\ m.h^{-1} \text{ (com } V \text{ expresso em } m.s^{-1}\text{)}$$

A velocidade do vento utilizada para estes cálculos foi resultado da média aritmética de 5 velocidades mensuradas aleatoriamente, com o auxílio de um anemômetro. Por fim, o metabolismo líquido por período do dia ($\mu\text{Mol. m}^2. 6\text{h}^{-1}$, 06:00 as 12:00, 12:00 as 18:00, 18:00 as 24:00 e 24:00 as 06:00) e o metabolismo líquido diário foram calculados de acordo com Odum (1956) usando as estimativas de fluxo como descrito em Cole *et al.* (1994)

Para mensurar a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), a temperatura da água e a concentração e saturação de oxigênio dissolvido, foram realizadas medições *in situ* nos mesmos horários e profundidades das coletas das amostras de água. Estas medidas foram realizadas com o auxílio de um medidor multiparâmetro YSI 85. As profundidades para coletas e análises foram pré-determinadas com corda graduada. A transparência da água foi estimada através da profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi no período entre 10hs e 15hs sob sombra (Cole, 1994), assumindo-se que esta profundidade corresponde, em média, a 10% da luz incidente na superfície. A velocidade do vento e temperatura do ar foram estimadas com o auxílio de um anemômetro. A tabela 3 mostra uma síntese dos métodos utilizados para obtenção dos parâmetros avaliados, suas unidades de medida e referencial bibliográfico.

Para testar a hipótese de que os sistemas analisados são heterotróficos, verificou-se e comparou-se descritivamente o metabolismo diário de cada local. Depois, observou-se o comportamento do metabolismo de cada sistema ao longo de intervalos no período diário, a fim de inferir se este metabolismo se relaciona ou não aos períodos diurnos e noturnos e assim verificar a dinâmica das atividades biológicas ao longo do dia. Por fim, verificou-se se cada ambiente aquático (Represa, Lagoa e Rio) mostrou diferença em relação ao metabolismo líquido diário utilizando análises estatísticas realizadas por modelos lineares generalizados do programa estatístico R.

Tabela 3- Parâmetros mensurados e respectivas unidades de referência, equipamentos e métodos

VARIÁVEL	UNIDADE	EQUIPAMENTO	MÉTODO
Vento	$m \cdot seg^{-1}$	Anemômetro	
Temperatura do ar	$^{\circ}C$	Anemômetro Instrutherm TAVR-650	
Temperatura da água	$^{\circ}C$	pHmetro Digimed DM-2	
Transparência	m	Disco de Secchi	
Profundidade	m	Corda graduada	
Condutividade elétrica	$\mu S \cdot cm^{-1}$	Multiparâmetro YSI 85	
Oxigênio Dissolvido	$mg \cdot L^{-1}$	Multiparâmetro YSI 85	
Saturação de Oxigênio	%	Multiparâmetro YSI 85	
pH		pHmetro Digimed DM-2	
Alcalinidade	$\mu Eq \cdot L^{-1}$	pHmetro Digimed DM-2 e cálculo	Titulação de Gran e Programa Alcagran Carmouze (1994)
CO ₂ T	$\mu Mol \cdot L^{-1}$	Cálculo	Programa Carbdoce – Carmouze (1994)
Fluxo de CO ₂ ar-água	$\mu Mol \cdot m^{-2} \cdot 6h^{-1}$	Cálculo	BIOLAT – Carmouze (1994)
Metabolismo C por período	$\mu Mol \cdot m^{-2} \cdot 6h^{-1}$	Cálculo	Odum (1956) e Cole et al. (1994)
Metabolismo C líquido diário	$\mu Mol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	Cálculo	Odum (1956) e Cole et al. (1994)

3- RESULTADOS

3.1- Parâmetros físico-químicos

No geral a temperatura apresentou relação significativa positiva com os períodos do ciclo diário ($P < 0.001$) e negativa com a profundidade ($P < 0.05$). Isto significa que a temperatura aumenta nos horários mais avançados do dia e nas profundidades mais superiores e diminui com o anoitecer e nas camadas mais profundas da coluna d'água. Entretanto, as diferenças de temperatura em relação às profundidades foram menos acentuadas uma vez que a maioria dos sistemas apresentaram-se praticamente desestratificados, com pequenas variações graduais na coluna d'água (Fig. 10, 11 e 12). Esta desestratificação foi relatada em diversos trabalhos relacionando-a a época do ano (*i.e.* Thomaz *et al.*, 1991; Nechi *et al.*, 1996).

De todos os sistemas, a barragem da COPASA foi a que apresentou maiores valores médios de temperatura (25,30°C, Tabela 4) variando entre 20 a 29°C. Este também foi o único sistema a apresentar estratificação térmica (Figura 11) provavelmente por ser o sistema mais profundo. Esta estratificação ocorreu no período noturno com a temperatura variando de 29 °C na superfície e 22°C nas camadas mais profundas. No período diurno o sistema mostrou-se desestratificado com pequenas variações graduais (28 a 24°C). Observou-se também que neste sistema, no período de 12:00 as 18:00 hs as camadas mais profundas (a partir de 16m) apresentaram-se mais quentes que suas camadas imediatamente superiores. Este fato comprova a entrada de águas subterrâneas no sistema, como relatado por Neto *et al.* (2001).

Outros dois sistemas que apresentaram ligeira estratificação térmica foram a Forquilha no PERPreto, variando de 24 a 21 °C, e a região de água livre na Lagoa da Prata variando de 25 a 23°C (Fig 10 e 12). Os demais locais não mostraram estratificação térmica por serem rasos e estarem mais expostas a ação dos ventos (Bozelli *et al.* 1992), mas apresentaram pequenas variações nas temperaturas com reduções gradativas destas com o aumento da profundidade e no

período noturno (Fig 10, 11 e 12). Nestes, as maiores temperaturas foram encontradas nos horários de 12:00 e 18:00 horas. O Rio Pandeiros apresentou variação térmica apenas relacionada a hora do dia devido a contínua mistura da coluna d'água pela alta correnteza e turbulência da água. Sua temperatura variou de 20.6 no período de 24:00 as 06:00 h a 23°C no período de 12:00 as 18:00 h.

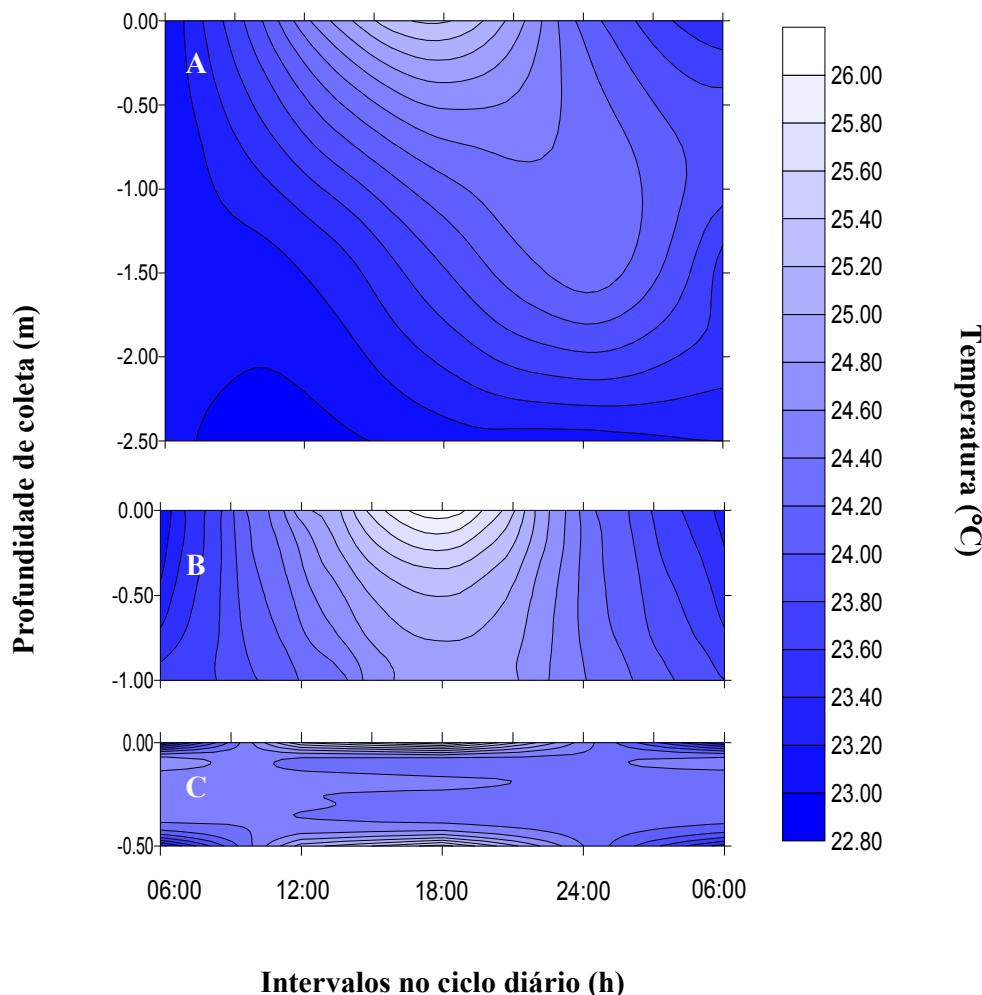


Figura 10- Variação de temperatura em °C em relação a profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente a região de água livre na Lagoa da Prata, a região dominada pelo banco de macrófitas na Lagoa da Prata e a Lagoa dos Patos no Parque Municipal situadas no Norte de Minas Gerais.

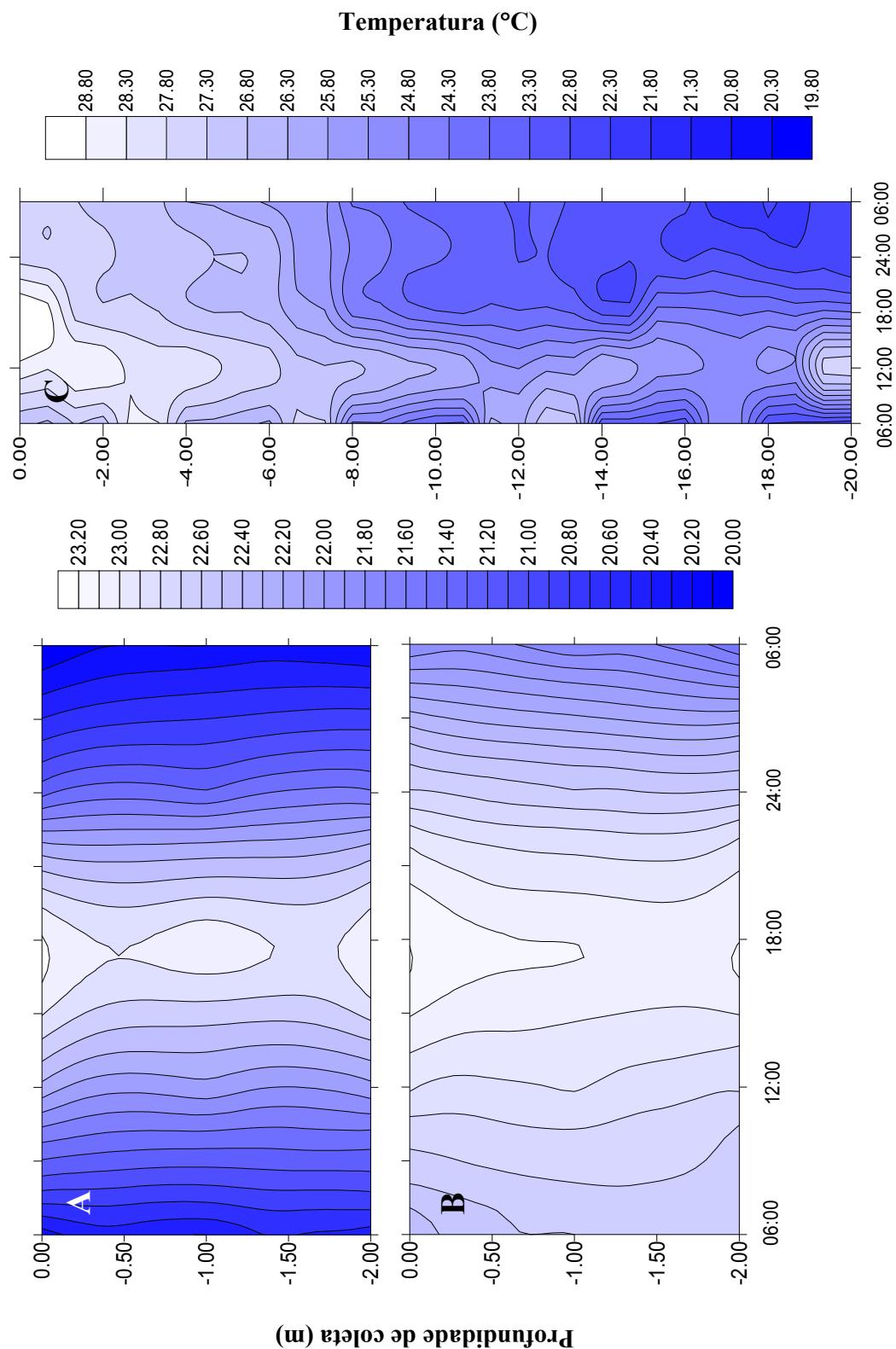


Figura 11- Variação de temperatura em °C em relação à profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente a PCH de Pandeiros, a Lagoa da Pampulha e a barragem da COPASA situadas no Norte de Minas Gerais.

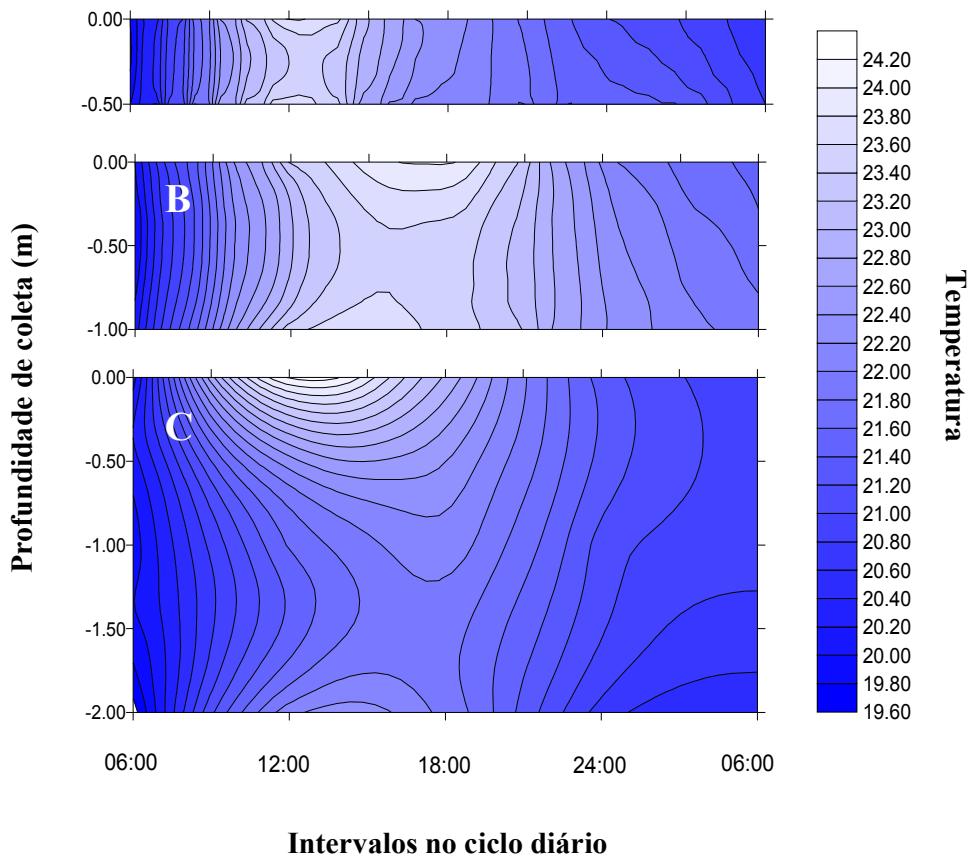


Figura 12- Variação de temperatura em °C em relação à profundidade (m) e hora do ciclo diário. Os gráficos (A), (B) e (C) correspondem respectivamente ao Rio Preto, Córrego das Éguas e Forquilha no PERPreto situadas no alto Vale do Jequitinhonha. O rio Pandeiros não foi representado graficamente, pois as variações na temperatura se relacionam apenas ao horário de coleta.

Como mencionado anteriormente o pH e a alcalinidade em sistemas aquáticos estão intimamente relacionados, e são indicadores da ocorrência de produção primária nos sistemas. Além disso, a condutividade também varia com a alcalinidade uma vez que íons de carbonato e bicarbonato influenciam em seu valor. O pH dos sistemas aquáticos apresentou-se ligeiramente ácido a alcalino com valores médios variando de 6,40 no Rio Preto a 8,33 na Lagoa da Pampulha (Tabela 4). A alcalinidade destes sistemas mostrou-se positivamente relacionada com o pH ($P < 0,05$) encontrando-se aumentada nos sistemas com maiores valores de pH (Fig 13). Da mesma forma, a condutividade também mostrou uma relação positiva significativa com a alcalinidade ($P < 0,005$; Fig 14). Assim, em geral, sistemas aquáticos, com elevados valores de pH apresentaram também valores acentuados de alcalinidade e condutividade.

Tabela 4- Resultados médios diários das variáveis analisadas por sistema aquático. Os valores negativos mostram consumo de CO₂ do sistema e consequentemente captura deste gás atmosférico indicando excesso de produção primária sobre a respiração - metabolismo autotrófico. Os demais resultados com valores positivos indicam liberação deste gás para o meio e atmosfera indicando excesso de respiração sobre a produção primária - metabolismo heterotrófico.

Local	Ambiente	Metabolismo de C (µMol.m ⁻² .d ⁻¹)	Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Saturação de Oxigênio (%)	pH	Alcalinidade (µEq.L ⁻¹)	Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	Temperatura (°C)	Luminosidade (m)
Lagoa da Prata (PEMS) - Água Livre	Lagoa	-3249,2	5,07	56,94	7,60	1729,00	146,90	23,58	1,10
Lagoa da Prata (PEMS) - Banco de Macrófitas	Lagoa	798,6	3,19	36,07	7,70	1685,50	150,85	24,25	0,45
Lagoa dos Patos – P. Municipal	Lagoa	59,8	5,39	66,90	8,26	3013,50	461,00	24,38	0,60
Pandeiros – PCH	Represa	-253,4	6,71	76,06	7,84	828,30	62,10	21,45	2,30
Lagoa da Pampulha	Represa	-1089,4	5,91	66,82	8,33	1471,00	221,10	22,56	0,75
Barragem de Juramento – COPASA	Represa	-3614,1	3,22	46,38	7,85	2071,50	293,65	25,30	2,70
Rio Pandeiros – Balneário	Rio	-71,7	8,37	84,70	8,27	774,90	65,80	21,42	1,10
Rio Preto (PERPreto)	Rio	81,3	3,14	36,52	6,40	68,76	3,85	21,58	0,35
Córrego das Éguas (PREPreto)	Rio	-7,0	3,31	38,23	6,89	70,43	4,00	22,24	1,20
Forquilha (PERPreto)	Rio	-115,6	3,44	39,18	6,89	75,83	3,70	21,30	1,60

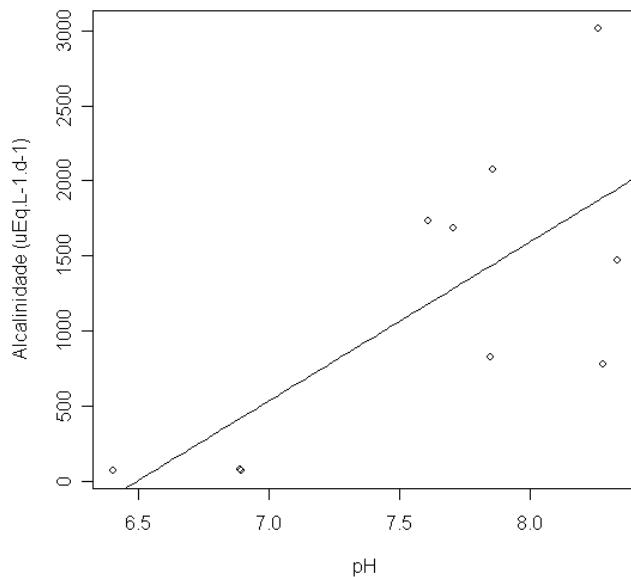


Figura 13- Variação da alcalinidade em relação ao pH da água ($P < 0,05$). Sistemas com pH maiores possuem alcalinidade também elevada. Esta relação se dá pelo equilíbrio das formas carbonatadas podendo então ser alterado pelos processos de respiração e fotossíntese. Desta forma, pode-se dizer que tanto o pH altera a alcalinidade quanto a alcalinidade altera o pH.

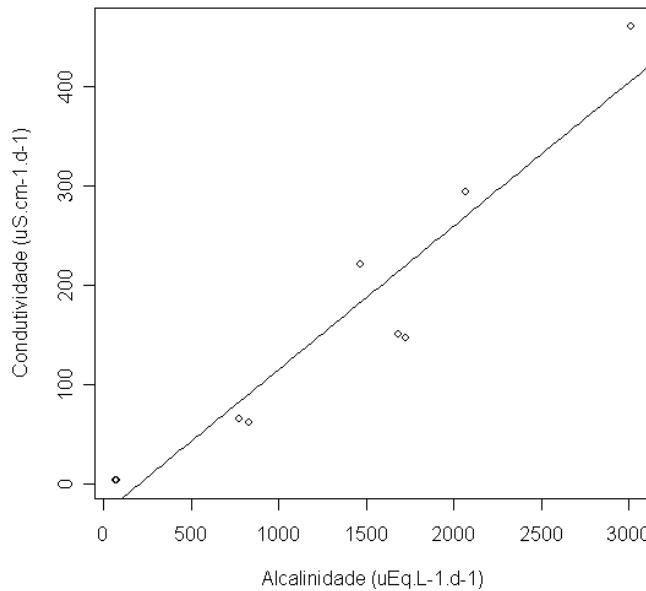


Figura 14- Variação da Condutividade em relação a alcalinidade ($P < 0,005$). Os íons de carbonatos existentes em sistemas com alcalinidade elevada influenciam os valores de condutividade (expressa quantidade de íons no meio) aumentando-os. Outros íons existentes no meio também podem influenciar nos valores de condutividade, como nutrientes inorgânicos e outros cátions como o cálcio.

De todos os sistemas a Lagoa dos Patos e a barragem da COPASA foram os que mostraram os maiores valores de alcalinidade (3013,50 e 2071,50 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e condutividade (461,00 e 293,65 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$ respectivamente). Estes sistemas apresentaram pH alcalino a ligeiramente alcalino igual a 8,26 e 7,85. Entretanto, observou-se que sistemas como o Rio Pandeiros e a Lagoa da Pampulha, com pH também alcalino (8,27 e 8,33 respectivamente), mostraram alcalinidade e condutividade bastante reduzidos em relação aos dois primeiros sistemas (Tabela 4). Da mesma forma, a PCH de Pandeiros, que exibiu pH semelhante ao da barragem da COPASA, mostrou alcalinidade e condutividade reduzidos em relação a este sistema aquático (828,30 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e 62,10 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

Na Lagoa da Prata, o pH, a alcalinidade e a condutividade da região de água livre e do banco de macrófitas variaram pouco. Entretanto, observou-se que a região de água livre, mesmo possuindo pH pouco menor (7,60), apresentou alcalinidade maior que a região coberta pelo banco de macrófitas (1729,00 e 1685,50 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ respectivamente). Além disso, a região de água livre, apesar da maior alcalinidade, exibiu uma condutividade menos acentuada de 146,90 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$, enquanto que a região do banco de macrófitas mostrou condutividade igual a 150,85 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Os valores mais baixos de pH, alcalinidade e condutividade foram encontrados nos sistemas do PERPreto, Rio Preto, Córrego das Éguas e Forquilha. Estes possuem pH ligeiramente ácido, sendo que, os menores valores de pH e alcalinidade foram observados no Rio Preto (6,40 e 68,76 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$). Entretanto, a condutividade deste sistema foi pouco maior (3,85 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$) do que a condutividade apresentada pela Forquilha (3,70 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$). A Forquilha, por sua vez, apresentou valores pouco maiores de pH e alcalinidade (6,89 e 75,83 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$). O mesmo foi observado no Córrego das Éguas, o qual exibiu pH igual a Forquilha e alcalinidade menor que este sistema (70,43 $\mu\text{Eq}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$), mas uma condutividade pouco mais elevada (4,00 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

A concentração e saturação de oxigênio dissolvido na água é um indicativo da ocorrência de produção primária no sistema, assim como o aumento do pH e da alcalinidade. De forma geral, o pH dos sistemas aquáticos não apresentou relação significativa com a concentração e saturação de OD ($P > 0,05$, Fig 15). O banco de macrófitas na Lagoa da Prata e a barragem da COPASA apresentaram valores reduzidos na concentração ($3,19 \text{ mg.L}^{-1}$ e 36,07%) e saturação de OD, mesmo possuindo pH ligeiramente alcalino, o que pode ter tornado a relação destes parâmetros não-significativo. Entretanto, pode-se observar que há uma tendência do pH ser maior em sistemas que apresentam valores mais acentuados de concentração e Saturação de OD (Fig X). A concentração e Saturação de OD foi maior no Rio Pandeiros com $8,37 \text{ mg.L}^{-1}$ e 84,70% respectivamente. Os sistemas do PERPreto, por sua vez, apresentaram os menores valores destes parâmetros, sendo o Rio Preto o sistema com menor concentração e saturação de OD ($3,14 \text{ mg.L}^{-1}$ e 36,52%). A Forquilha, entretanto, apresentou estes parâmetros mais acentuados ($3,44 \text{ mg.L}^{-1}$ e 39,18%) em relação ao Rio Preto e Córrego das Éguas (Tabela 3).

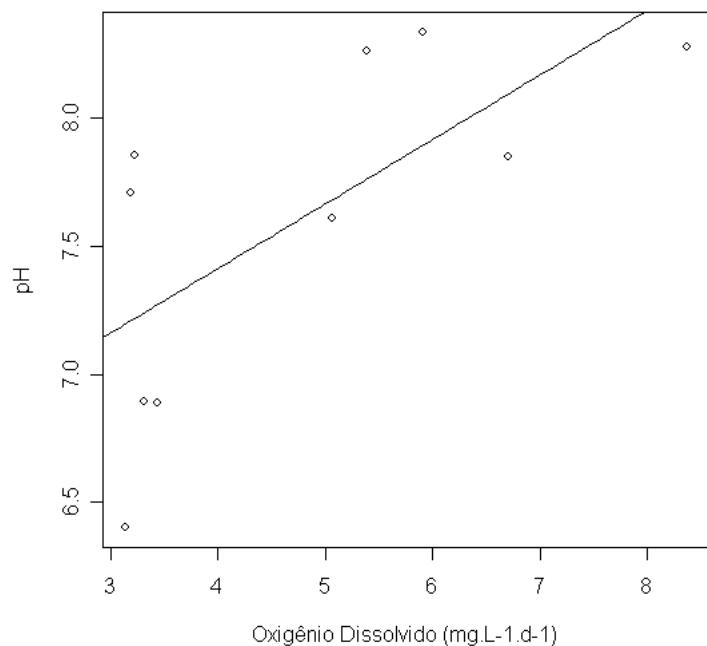


Figura 15- Variação do pH em relação à Concentração de Oxigênio Dissolvido ($P > 0,05$). Apesar de possuírem relação não significativa, observou-se que sistemas que possuem maiores concentrações de OD apresentam pH mais elevados.

3.2- Metabolismo aquático de carbono líquido diário

De todos os sistemas aquáticos estudados apenas três apresentaram metabolismo líquido diário heterotrófico. A heterotrofia mais acentuada foi encontrada no banco de macrófitas da Lagoa da Prata com produção de CO₂ igual a 798,6 µMol C.m².d⁻¹. Este sistema apresentou o segundo mais baixo valor de profundidade do Disco de Sechi . O Rio Preto e a Lagoa dos Patos exibiram saturação de CO₂, menos acentuado comparado com o banco de macrófitas, produzindo, respectivamente, 81,3 e 59,8 µMol C.m².d⁻¹ deste gás. Os demais sistemas mostraram subsaturação de CO₂ em relação a atmosfera, e, portanto, metabolismo autotrófico líquido. O consumo mais expressivo de CO₂ foi observado na barragem da COPASA (3614,1 µMol C.m².d⁻¹) e na região de água livre na Lagoa da Prata (3249,2 µMol C.m².d⁻¹). O Córrego das Éguas, no entanto, apresentou a menor autotrofia líquida consumindo apenas 7,0 µMol C.m².d⁻¹ (Tabela 5).

Os ambientes, Represa, Lagoa e Rio, não apresentaram diferenças significativas em relação ao metabolismo líquido diário de C ($P > 0,05$). Entretanto, o ambiente Represa apresentou o maior consumo de CO₂ (4957,1 µMol C.m².d⁻¹) sendo que todos seus sistemas mostraram-se subsaturados de CO₂ em relação a atmosfera. Destaca-se neste ambiente a barragem da COPASA que, como mencionado anteriormente, exibiu autotrofia líquida mais expressiva. Os Rios exibiram uma autotrofia líquida menos acentuada (113,1 µMol C.m².d⁻¹). Neste ambiente, três dos quatro sistemas avaliados apresentaram autotrofia líquida muito reduzida, e um de seus quatro sistemas, o Rio Preto, apresentou metabolismo heterotrófico. O ambiente Lagoa deve sua autotrofia líquida (2390,8 µMol C.m².d⁻¹) a região de água livre da Lagoa da Prata, o único sistema representativo deste ambiente a apresentar metabolismo autotrófico. As duas outras lagoas, o banco de macrófitas da Lagoa da Prata e a Lagoa dos Patos mostraram heterotrofia líquida (Tabela 5, Fig. 16).

Tabela 5- Balanço de Produção, Consumo e Balanço Total final de CO₂ em $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ dos sistema aquáticos avaliados

Local	Ambiente	Produção de CO ₂	Consumo de CO ₂	Total de CO ₂
Lagoa da Prata (PEMS) - Água Livre	Lagoa	1163,7	4412,9	3249,2
Lagoa da Prata (PEMS) - Banco de Macrófitas	Lagoa	1178,3	379,7	798,6
Lagoa dos Patos – P. Municipal	Lagoa	202,5	142,7	59,8
Pandeiros – PCH	Represa	148,8	402,2	253,4
Lagoa da Pampulha	Represa	277,5	1366,9	1089,4
Barragem de Juramento – COPASA	Represa	2382,5	5996,6	3614,1
Rio Pandeiros – Balneário	Rio	0,5	72,2	71,7
Rio Preto (PERPreto)	Rio	302,9	221,6	81,3
Córrego das Éguas (PREPreto)	Rio	170,6	177,6	7
Forquilha (PERPreto)	Rio	426,6	542,2	115,6
TOTAL		6253,9	13714,6	7460,7

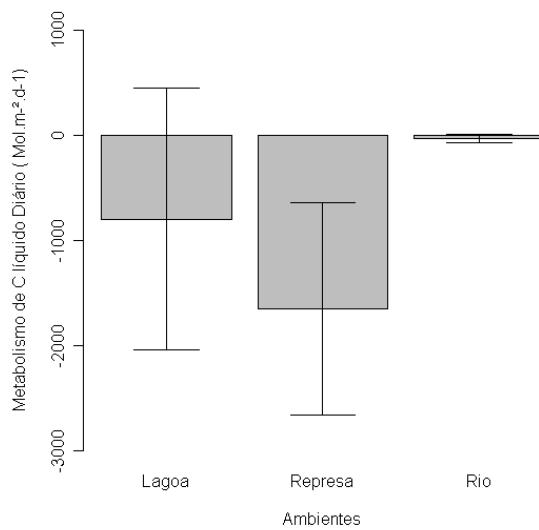


Figura 16- Gráfico de médias do metabolismo líquido diário de dióxido de carbono por Ambiente. Os boxes correspondem aos valores de metabolismo de cada ambiente e as barras correspondem ao erro padrão. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.

O metabolismo líquido diário dos sistemas aquáticos não apresentou variações significativas em relação a alcalinidade, condutividade, pH, temperatura, OD ou profundidade do Disco de Sechi ($P > 0,05$). Entretanto, em relação a luminosidade, observou-se uma tendência dos sistemas autotróficos a apresentarem maiores profundidades no Disco de Sechi indicando maior penetração luminosa na água (Fig. 17). Isto é observado nos sistemas heterotróficos Lagoa da Prata na região coberta pelo banco de macrófitas e no Rio Preto, os quais exibiram as menores profundidades do Disco de Sechi com valores iguais a, respectivamente, 0,45 e 0,35 m. Também observou-se que sistemas autotróficos possuíam maiores profundidades do Disco de Sechi como a barragem da COPASA (2,7 m) e Lagoa da Prata na região de água livre (1,1 m).

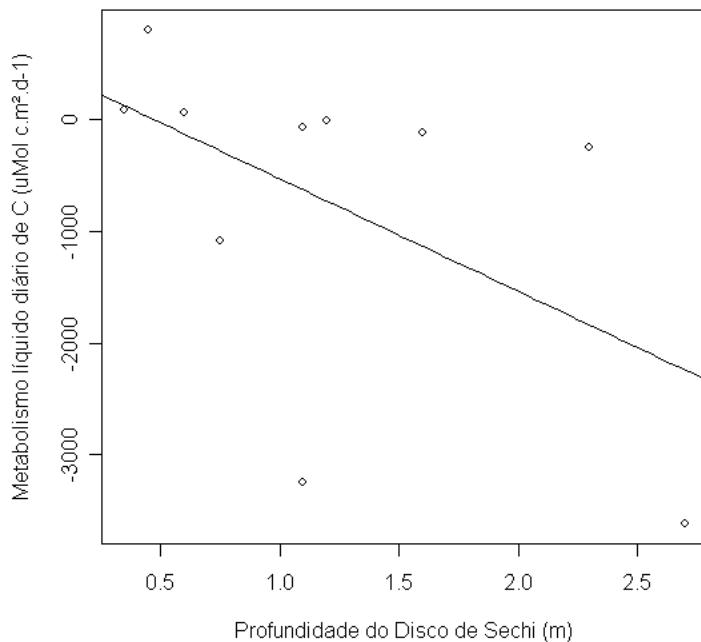


Figura 17- Variação não significativa do Metabolismo líquido diário dos sistemas aquáticos em relação a Profundidade do Disco de Sechi ($P > 0,05$). Entretanto, observa-se uma tendência dos sistemas a apresentarem maior consumo de CO_2 de acordo com maiores profundidades do Disco de Sechi. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.

Em relação a alcalinidade e condutividade, observou-se que, sistemas que apresentaram maior consumo de CO₂ exibiam valores mais elevados destes parâmetros (Fig. 18 e 19, Tabela 4). Entretanto, a relação entre o metabolismo aquático líquido diário e a alcalinidade e condutividade foi não significativa. Este resultado está relacionado aos valores encontrados no banco de macrófitas da Lagoa da Prata e na Lagoa dos Patos. Estes sistemas exibiram metabolismo heterotrófico líquido, estando supersaturados de CO₂ em relação a atmosfera, e apresentaram valores elevados de alcalinidade e condutividade, ao contrário dos demais sistemas.

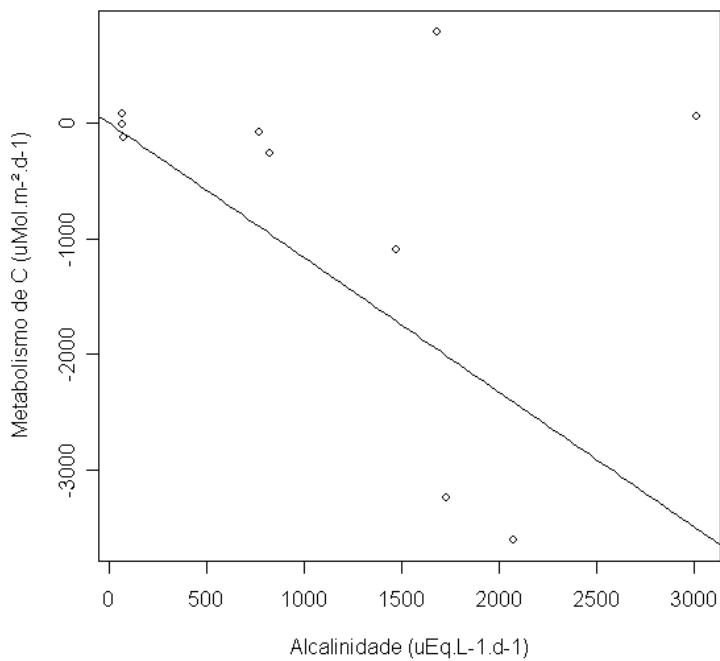


Figura 18- Variação não significativa do Metabolismo líquido diário em relação a alcalinidade dos sistemas ($P > 0,05$). Entretanto observa-se uma tendência dos sistemas autotróficos a apresentarem valores de alcalinidade elevadas. Os pontos representam os valores do metabolismo de C em relação aos valores de alcalinidade. Os valores negativos no metabolismo aquático indicam consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.

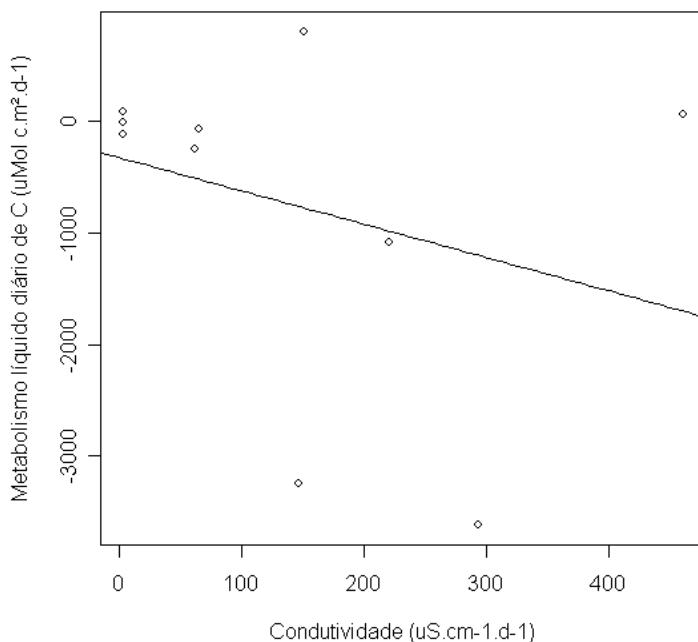


Figura 19- Variação não significativa do Metabolismo líquido diário em relação a condutividade dos sistemas ($P > 0,05$). Entretanto observa-se uma tendência dos sistemas autotróficos a apresentarem valores de condutividade elevadas. Os pontos representam os valores do metabolismo de C em relação aos valores de alcalinidade.

Em geral, o metabolismo de C variou significativamente entre os períodos do ciclo diário ($P < 0,05$), sendo que o maior consumo de CO_2 ocorreu no período de 12:00 às 18:00 horas e a maior produção deste gás no intervalo de 18:00 às 24:00 horas (Fig. 20). A produção e consumo deste gás relaciona-se também a temperatura, a qual também variou positivamente com os períodos do ciclo diário ($P < 0,05$). Assim os maiores valores de temperatura foram observados no final do dia (intervalo de 12:00 às 18:00 horas). Apesar de, também ter apresentado variações significativa negativas com as profundidades ($P < 0,05$), os sistemas mostraram apenas estratificações discretas diurnas, geralmente no período onde as temperaturas se encontravam mais elevadas (Fig. 10, 11 e 12). Logo, observou-se temperaturas mais elevadas nos horários mais avançados do dia e nas camadas superiores das colunas d'água, e temperaturas reduzidas no período noturno e nas horas iniciais do dia e nas camadas mais profundas das colunas d'água. Os ambientes apresentaram diferenças significativas na temperatura ($P < 0,001$), sendo que os

ambientes Lênticos, lagoas e represas, mostraram temperaturas mais elevadas que os sistemas Lóticos.

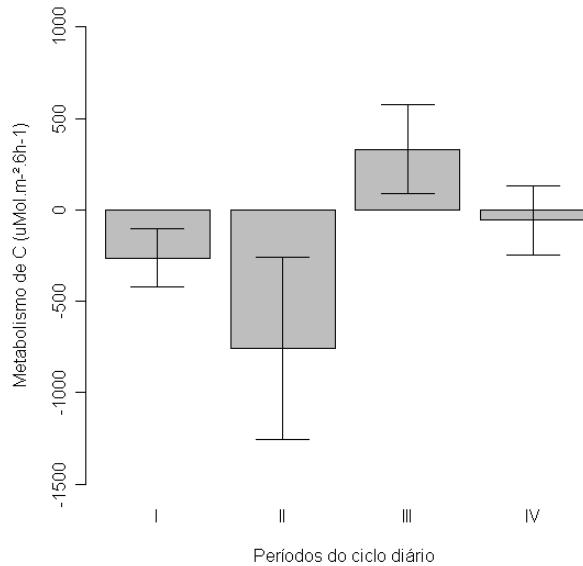


Figura 20- Variação do metabolismo de C entre os períodos do ciclo diário. Os períodos I, II, III e IV correspondem aos períodos, respectivamente, 06:00 as 12:00, 12:00 as 18:00, 18:00 as 24:00 e 24:00 as 06:00 horas. Os boxes indicam o metabolismo de C diário líquido médio de todos os sistemas analisados por período. As barras indicam o desvio padrão, ou seja, o quanto os valores deste parâmetro varia. Os valores negativos no metabolismo aquático indica consumo de dióxido de carbono tornando o sistema subsaturado deste gás em relação a atmosfera e então autotrófico líquido. Os valores positivos de metabolismo indicam, então, heterotrofismo líquido.

Desta forma, os sistemas aquáticos em estudo, num balanço final, apresentaram metabolismo autotrófico líquido ($7640,7 \mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), agindo como potenciais drenos de CO_2 da atmosfera num ciclo nictimeral (Tabela 5). Este metabolismo autotrófico, apesar de não apresentar relações significativas com os parâmetros medidos, mostrou-se mais acentuado em sistemas com maior luminosidade, alcalinidade, condutividade e pH. A não significância desta relação no entanto, está relacionada ás diferenças particulares que cada sistema apresentou nos resultados dos valores destes parâmetros físico-químicos

4- DISCUSSÃO

4.1- *Metabolismo líquido global dos sistemas aquáticos*

Como explicado anteriormente o processo de fotossíntese retira o CO₂ da água fazendo com que o equilíbrio existente no sistema CO₂ – HCO₃⁻ – CO₃²⁻ se desloque para a direita (Equação 1) e eleve o pH. Assim é comum que sistemas autotróficos possuam quantidades maiores de alcalinidade, condutividade e pH. A condutividade, que expressa a quantidade de íons no meio, é influenciada diretamente pelos íons de HCO₃⁻ e CO₃²⁻, bem como metais alcalinos e alcalinos terrosos, e assim relacionando positivamente com a alcalinidade do sistema aquático. No entanto, outros íons como nutrientes inorgânicos e ferro também influenciam os valores da condutividade (Wetzel, 2001; Cole, 1994). Logo, este parâmetro pode ser tomado como medida indireta dos nutrientes no meio aquático.

Da Silva & Esteves (1995) atribuíram o aumento na condutividade, no período de cheia em duas baías no Mato Grosso, ao aporte de materiais alóctones como nutrientes inorgânicos e cátions como potássio, magnésio e cálcio. De acordo com estes autores a condutividade não apresentou o mesmo comportamento que o pH indicando que íons de hidrogênio e hidroxilas, que determinam os valores do pH, tiveram contribuição mínima para a condutividade. Na lagoa do Infernão, Esteves & Nogueira (1995) relataram que o pH e condutividade apresentaram valores mais altos no período de alta entrada de material alóctone e diminuição destes no período de águas baixas devido a decomposição da matéria orgânica e rápida assimilação de nutrientes pelos autotróficos. Nechi *et al.* (1996) também encontraram valores elevados de condutividade em períodos de entrada de matéria orgânica no meio.

Em contrapartida, Mercante & Bicudo (1996), em estudo no açude do Jacaré, encontraram maiores valores de condutividade no período seco, no qual não há entrada de material alóctone. Estes justificaram o aumento da condutividade com o aumento na decomposição de macrófitas aquáticas e consequente liberação de nutrientes inorgânicos no

meio. O mesmo foi encontrado por Barbieri & Esteves (1991) na represa do Lobo em São Paulo. Bozelli *et al.* (1992) encontraram elevados valores de condutividade em lagoas que recebem efluentes domésticos. Assim, poder-se-ia inferir que sistemas com alto consumo de CO₂, pH e alcalinidade elevados possuem PPB > R sustentados por quantidades elevadas de nutrientes cuja presença é mostrada pelos altos valores de condutividade (Mercante & Bicudo, 1996). Entretanto, tal conclusão deve ser tomada com cautela uma vez que carbonatos e bicarbonatos e outros cátions como cálcio, magnésio e ferro, influenciam mais diretamente nos valores de condutividade que os nutrientes inorgânicos (Wetzel, 2001).

Um grande número de autores admite que a condição metabólica de um sistema esteja relacionada com a entrada de material orgânico alóctone (Vannote *et al.*, 1980; Tranvik, 1989; Carmouze *et al.*, 1991; del Giorgio *et al.*, 1999; Thomaz *et al.*, 2001; Cole *et al.*, 2000; Praire *et al.*, 2002; Hanson *et al.*, 2003; Sobeck *et al.*, 2003; Hanson *et al.*, 2004; Cole *et al.*, 2007). Esta entrada de matéria orgânica, proveniente do entorno dos sistemas aquáticos e trazida a estes principalmente pelo escoamento da água de chuvas, sustenta os processos de respiração e decomposição. Desta forma, torna os sistemas supersaturados em CO₂ e diminui o processo de produção primária devido a redução da penetração de radiação fotossintética ativa (Nechi *et al.*, 1996; Mercante & Bicudo, 1996; Sobeck *et al.*, 2005). Logo, eles justificam a tendência dos sistemas, até então analisados, apresentarem heterotrofia líquida.

Por outro lado, Carmouze *et al.* (1991) definiram em seu trabalho períodos de atividade biológica baixa (Maio a Setembro), intermediária (Setembro a Janeiro) e alta (Janeiro a Maio). As lagoas apresentaram heterotrofia no período de baixa atividade biológica e autotrofia no período de alta atividade biológica. Estes autores afirmam que os processos de fotossíntese são mais susceptíveis as variações ambientais que os processos de respiração e por isso as atividades fotossintéticas se encontram prejudicadas pelos menores valores de temperatura e radiação apresentados no período de baixa atividade biológica. Entretanto Nechi & Pascoaloto (1993) encontraram correlação negativa entre abundância de macroalgas com a turbidez e luz incidente

na bacia do Rio Preto em São Paulo. Eles sugeriram que durante o inverno, quando a radiação solar é menor, a quantidade que alcança o fundo do leito dos riachos deve ser maior do que no verão devido aos altos valores de turbidez encontrados neste último período provocados pelo aumento de matéria orgânica trazida pela água das chuvas induzindo assim a PPB. Mercante & Bicudo (1996) também encontraram valores maiores de OD e alcalinidade nos períodos de seca em um açude em Moji Guaçu, indicando predominância de autotrofia no sistema. Seguindo então esta linha de raciocínio, os sistemas aqui estudados apresentaram metabolismo autotrófico líquido por falta de entrada de matéria orgânica alóctone para sustentar as comunidades heterotróficas. Portanto, sem entrada de matéria orgânica houve maior penetração de luz nos sistemas e aumento da temperatura favorecendo os organismos fotoautotróficos e aumentando a produção primária.

A temperatura da água é uma das variáveis mais importantes nos sistemas aquáticos. Este parâmetro age diretamente nas reações químicas e biológicas dos sistemas como nos processos de produção primária (Pedrosa & Rezende, 2000; Nechi *et al.*, 1995), ação dos microorganismos na decomposição da matéria orgânica (Maranger *et al.*, 2005; Lamparelli *et al.*, 1992; Findlay *et al.*, 1991), nas reações de dissolução e difusão das formas de carbono e oxigênio e mineralização de nutrientes (Cole, 1994; Wetzel, 2001; Carmouze, 1994). Além disso, ela está intimamente relacionada com a penetração de radiação luminosa nos sistemas aquáticos. A quantidade de energia luminosa absorvida por uma solução aumenta exponencialmente com a distância da trajetória da luz através da solução. Para um comprimento de onda de 750 nm, 90% é absorvida no primeiro metro enquanto somente 1% é transmitida a 2m de água pura. A absorção aumenta com a existência de matéria orgânica. Grande parte da energia solar é de baixa freqüência na porção infravermelha do espectro com comprimentos de onda maiores que 750 nm, os primeiros 2 m dos sistemas aquáticos absorvem mais da metade da radiação solar que entra no sistema. O alto calor específico da água permite a dissipaçāo da energia luminosa e sua acumulação como calor. A retenção do calor está relacionada com fatores que influenciam sua distribuição dentro

de ecossistemas lênticos e lóticos como, por exemplo, o trabalho físico feito pela energia dos ventos, correntes e outros movimentos das colunas d'água, a morfometria do canal ou bacia e ganhos e perdas de calor da água (Wetzel, 2001). De acordo com Payne (1986), diferenças de apenas 0,5°C entre a superfície e a parte inferior da coluna d'água, permitem que um corpo d'água em regiões tropicais apresente estratificação térmica relativamente estável, visto que as altas temperaturas observadas nestas regiões fazem com que pequenas diferenças na temperatura da água correspondam a grandes diferenças na sua densidade. Esta estratificação influencia a distribuição das comunidades aquáticas, compostos orgânicos e inorgânicos na coluna d'água.

Os sistemas, ou apresentaram pequenas estratificações diurnas e desestratificações noturnas (sistemas lênticos) ou mostraram-se completamente desestratificados (sistemas lóticos). Entretanto, todos apresentaram temperaturas elevadas no período diurno, principalmente no intervalo de 12:00 as 18:00 horas, e queda expressiva no período noturno. Esta amplitude térmica é referida como típica dos trópicos durante o período frio e seco, uma vez que nestas regiões observam-se dias quentes e noites frias (Thomaz *et al.*, 1991; Nechi *et al.*, 1996). Assim, os processos de PPB e R oscilam consideravelmente ao longo do período nictimeral. A influência da temperatura nos processos de fotossíntese fica claro quando observamos que o período de maior temperatura nos sistemas (12:00 as 18:00) corresponde ao período de maior consumo de CO₂ num balanço geral. Também, no início do período noturno, com a temperatura ainda elevada, os processos de respiração tomam lugar e são amenizados no final da noite, quando a temperatura diminui (Fig 9, 10, 11 e 12). Assim, de maneira global, os sistemas apresentaram um consumo líquido de CO₂ no período diurno e produção deste gás no período noturno.

4.2- Metabolismo de C em sistemas aquáticos lênticos: Lagos e Represas

A Lagoa da Prata na região de água livre e a barragem de Juramento apresentaram os valores mais elevados de subsaturação de CO₂, consumindo, respectivamente, 3249,2 e 3614,1 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Entretanto a concentração e saturação de OD foi muito maior na região de água livre da Lagoa da Prata que apresentou 5,07 mg.L⁻¹ e 56,94%, respectivamente, enquanto que a barragem da COPASA mostrou concentração e saturação deste gás bem abaixo do esperado (3,22 mg.L⁻¹ e 46,38% respectivamente), considerando seu alto consumo de C (Tabela 4).

Os demais sistemas de represa, PCH e Lagoa da Pampulha, também tiveram metabolismo autotrófico, no entanto, menos acentuado que a barragem da COPASA. A PCH mostrou consumo de CO₂, alcalinidade, condutividade e pH menores que a Lagoa da Pampulha (Tabela 4). No entanto, a PCH obteve valores mais expressivos na concentração e saturação de OD (6,71 mg.L⁻¹ e 76,06%) que a Lagoa da Pampulha (5,91 mg.L⁻¹ e 66,82%).

A Lagoa dos Patos no Parque Municipal apresentou os valores mais elevados de alcalinidade e condutividade (3013,5 $\mu\text{Eq.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e 461 $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$, respectivamente), pH alcalino (8.26) e alta concentração e saturação de OD (5,39 mg.L⁻¹ e 66,9%). No entanto este sistema mostrou-se ligeiramente heterotrófico líquido liberando 59,8 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ de C. Outro sistema que mostrou metabolismo líquido heterotrófico foi o banco de macrófitas da Lagoa da Prata, com liberação de CO₂ de 798,6 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ apresentando também baixos valores na concentração e saturação de OD (3,19 mg.L⁻¹ e 36,07%, respectivamente). No entanto, apesar deste sistema mostrar uma heterotrofia mais acentuada que a Lagoa dos Patos, esse obteve valores inferiores de alcalinidade (1685,5 $\mu\text{Eq.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e condutividade (150,85 $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$;

Tabela 4)

Como visto até o momento, a condição metabólica dos sistemas aquáticos está relacionada com a entrada de matéria orgânica. Sistemas heterotróficos são sustentados pela

entrada de matéria orgânica, cuja decomposição eleva os níveis de CO₂ e condutividade pela liberação de nutrientes e outros íons durante o processo, reduzindo assim o pH e alcalinidade.

A Lagoa da Prata retrata bem os fatos mencionados anteriormente. A compartmentalização horizontal apresentada por ela está relacionada a presença dos bancos de plantas aquáticas emersas e flutuantes distribuídas de forma heterogênea no sistema. A ocorrência destes bancos modifica as condições físicas e químicas e influenciam de maneira decisiva no estado metabólico de sistemas lênticos (Mercante & Bicudo, 1996). Desta forma pode-se observar que a região tomada pelo banco de plantas aquáticas apresentou metabolismo heterotrófico enquanto que a região de água livre apresentou metabolismo autotrófico.

O heterotrofismo está, provavelmente, relacionado a decomposição da biomassa morta das plantas aquáticas que eleva os teores de CO₂ no sistema e diminui a alcalinidade pelo deslocamento do equilíbrio CO₂ – HCO₃⁻ – CO₃²⁻. A maior condutividade se relaciona com a liberação de nutrientes pela decomposição, pois apresenta valor mais elevado que na região de água livre onde ocorre assimilação de nutrientes pelos organismos autotróficos. Além disso, o banco de macrófitas reduz a penetração luminosa diminuindo a capacidade fotossintética dos autotróficos resultando em valores reduzidos na concentração e saturação do OD. Comparativamente, a região de água livre favoreceu os processos fotossintéticos resultando em valores maiores na concentração e saturação de OD, na alcalinidade e no consumo de CO₂ (Tabela 3). Mercante & Bicudo (1996) encontraram resultados similares no Açude do Jacaré no qual observou a variação horizontal pela presença de plantas aquáticas e atribuíram a estas, papel de destaque nos ecossistemas aquáticos rasos influenciando a química da água, atuando como substrato para algas e outros organismos, sustentando a cadeia de detritos e de herbivoria e funcionando como compartimentos estocadores de nutrientes.

Apesar da alta concentração e saturação de OD apresentada pela Lagoa dos Patos no Parque Municipal, esta apresentou um pequeno heterotrofismo líquido. Este heterotrofismo é, provavelmente, decorrente do córrego que a abastece o qual atravessa alguns bairros da cidade

recebendo efluentes domésticos. Também, existe na lagoa um banco de macrófitas aquáticas que contribui para o aumento de matéria orgânica no sistema. Sendo esta lagoa extremamente rasa e pequena a ação dos ventos age intensamente misturando toda a coluna d'água distribuindo de forma homogênea esta matéria orgânica. O aumento na temperatura favorece tanto os processos de fotossíntese como os de decomposição. Neste caso, os processos de decomposição foram pouco mais intensos resultando numa supersaturação líquida de CO₂ no sistema e altos valores de condutividade.

Entretanto, os valores de pH, alcalinidade e mesmo condutividade mostraram-se muito elevados para um metabolismo heterotrófico líquido não tão acentuado, mesmo havendo PPB expressiva. Uma hipótese para os elevados valores nestes parâmetros é a existência de metais alcalinos e alcalinos terrosos, provenientes da decomposição da matéria orgânica no sistema e no córrego que o abastece e apresenta altas concentrações pelo pouco volume de água na lagoa (Da Silva & Esteves, 1995). De acordo com Cole (1994) quando os metais são abundantes no sistema há oportunidade de formação de muito bicarbonato. Este bicarbonato associado aos metais, como o cálcio, por exemplo, precisam de certa quantidade de CO₂ para mantê-lo no sistema. Se este CO₂ for retirado do sistema (liberação para a atmosfera ou fotossíntese) haverá transformação do bicarbonato de cálcio em carbonato de cálcio, que precipitará, com liberação de CO₂. Mas se houver incremento de CO₂ no sistema (decomposição e respiração) o carbonato de cálcio dissolverá e haverá maior formação de bicarbonato de cálcio no sistema. Assim, a decomposição de matéria orgânica no sistema fornece quantidades maiores de CO₂ promovendo a formação de bicarbonato e aumento na alcalinidade no sistema. A quantidade deste gás no sistema é controlada pela fotossíntese, que também contribui para o aumento da alcalinidade, pois retira parte deste gás do sistema tornando sua heterotrofia menos expressiva.

Lagoas e Reservatórios são sistemas parecidos nos seus processos ecológicos e físico-químicos. Nestes sistemas observa-se compartmentalização das camadas de água pela diferença de temperatura e densidade, resultando em diferentes concentrações de nutrientes, matéria

orgânica, carbono e oxigênio e distribuição das comunidades aquáticas dentro destas camadas. A circulação das camadas d'água é basicamente feita pela ação de vento e fenômenos de circulação na coluna d'água pelas mudanças na densidade das camadas, seja pela diferença na temperatura ou pelas mudanças nas concentrações de soluto. Entretanto, existem algumas diferenças entre estes dois ambientes que interferem nestes processos ecológicos e físico-químicos (Wetzel, 2001).

Os reservatórios são criados predominantemente em regiões onde grandes lagos naturais são raros ou impróprios para utilização humana. Nestas regiões o clima tende a ser mais quente do que em regiões com muitos lagos naturais, resultando numa temperatura média maior da água, estações de crescimento mais longas e entradas de água de chuva muito balanceadas, ou menores, do que perdas por evaporação. A bacia de drenagem de reservatórios são muito maiores em relação a área superficial do reservatório do que entre a maioria dos lagos naturais. Devido a formação dos reservatórios serem, em sua maioria, formados em vales de rios e na base da bacia de drenagem, a morfometria da bacia do reservatório é geralmente dendrítica, estreito e alongado. Estas características físicas afetam os processos biológicos em muitas formas complexas, sendo a mais importante destas a disponibilidade de luz e nutrientes. Os reservatórios recebem água principalmente via rios de ordens maiores, o que resulta em maior energia para erosão, capacidade de carga de grandes sedimentos e penetração extensiva de compostos particulados e dissolvidos na região próxima a barragem. Uma vez que a corrente do reservatório é primariamente canalizada e frequentemente não interceptada por dispersores de energia, pântanos biologicamente ativos e interface com regiões litorâneas, as entradas de água corrente são maiores, mais diretamente relacionada a eventos de precipitação e estendendo-se para maiores distâncias dentro do reservatório do que ocorre em lagos naturais. Todas essas propriedades resultam em altas, mas irregulares pulsos de nutrientes e sedimento carregado para dentro do reservatório (Wetzel, 2001).

Acentuadas e irregulares flutuações no nível da água ocorrem nos reservatórios como resultado de pulsos de inundação característicos, práticas de uso da terra não conducentes a retenção de água, canalização dos afluentes primários, controle da inundação e grandes retiradas de água irregular para geração de energia, resultando em múltiplos efeitos nas cargas de materiais. Grandes áreas de sedimento são alternadamente inundadas e expostas; esta manipulação geralmente previne o estabelecimento de pântanos produtivos e flora litorânea. A erosão e ressuspensão dos sedimentos do pulso de inundação aumentam as entradas de material a partir de grandes fontes da bacia de drenagem. Os sedimentos superficiais são alternadamente expostos a condições aeróbicas e anaeróbicas com aumento na liberação de nutrientes. A redução ou eliminação das comunidades de pântanos e da margem em volta de muitos reservatórios minimiza a capacidade de retenção de nutrientes e sedimentos que funcionam efetivamente na maioria dos lagos naturais. Consequentemente, a erosão da margem em lagos naturais é menor e localizada a regiões com correntes de vento. Como resultado, comparado aos reservatórios, a morfologia de lagos naturais é relativamente mais estável (Wetzel, 2001).

Os sistemas de represa deste estudo mostraram-se predominantemente autotróficas líquidas provavelmente, como mencionado acima, devido a altas entradas de nutrientes pela sua bacia de drenagem e maior luminosidade a que se expõem (Geider *et al.*, 2001). A PCH de Pandeiros e a Lagoa da Pampulha retratam bem esta condição.

O Ribeirão Pandeiros sofre com o assoreamento intenso provocado pela retirada da vegetação nativa para carvogamento, agropecuária e pecuária extensiva, resultando na diminuição do volume de água e do potencial energético. Além disso, é relatado fluxo de efluentes domésticos, uma vez que o saneamento básico das populações locais é muito precário (IGA, 2006). Estes efluentes podem servir como fonte de nutrientes favorecendo a PPB sobre a R e atribuindo caráter metabólico autotrófico ao sistema (Carmouze *et al.*, 1991). A barragem da PCH recebe estes efluentes ou como matéria orgânica ou como nutriente inorgânico, proveniente da decomposição à montante, oferecendo condições para ambos processos de decomposição e

produção primária bruta resultando numa autotrofia não tão acentuada. Assim, pode-se dizer que, ao mesmo tempo em que processos fotossintéticos estão dominando no sistema, consumindo CO₂, tornando o meio subsaturado deste gás, esta subsaturação é reduzida pela liberação de CO₂ resultante dos processos de decomposição da matéria orgânica proveniente da descarga de efluentes no meio. Por ser um sistema raso e desestratificado, observa-se maior penetração luminosa e homogeneização da coluna de água, oxigenando o meio e favorecendo ainda mais os processos fotossintéticos. Outro fator que contribui para a PPB é o pH ligeiramente alcalino. Nesta faixa de pH o ácido carbônico e CO₂ estão presentes no sistema, o que explica a baixa alcalinidade, e são mais facilmente utilizados pelos organismos autotróficos resultando no alto valor da concentração e saturação de OD. A baixa condutividade pode ser justificada pela falta de íons hidroxila no meio. Além disso, os nutrientes liberados pela decomposição da matéria orgânica são prontamente utilizados pelos autotróficos reduzindo ainda mais a condutividade. De acordo com Duarte & Augusti (1998) a altas taxas de respiração tendem a acontecer em sistemas com altas taxas de PPB, entretanto, nestes sistemas produtivos o autotrofismo prevalece sobre o heterotrofismo.

A Lagoa da Pampulha mostra o mesmo comportamento da PCH. Este sistema, que recebe maiores quantidades de efluentes domésticos diretamente em suas águas e pelo córrego que a abastece, mostrou-se mais eutrofizado e com atividade metabólica mais expressiva. Desta forma, como discutido anteriormente, pode-se dizer que a entrada de efluentes domésticos, que eleva os níveis de nutrientes, e a pouca profundidade da lagoa, que permite maior penetração luminosa, favorecem os processos de PPB. Embora apresente uma autotrofia mais expressiva que a PCH a concentração de OD foi pouco menor. A provável justificativa para tal fato pode estar relacionada ao pH apresentado pela Lagoa da Pampulha. Este se encontra bastante alcalino, numa faixa em que o bicarbonato ocorre como forma dominante no sistema, o que explica a maior alcalinidade. Esta forma carbonatada é mais dificilmente utilizada pelos autotróficos reduzindo a capacidade fotossintética (Wetzel, 2001; Cole, 1994).

De acordo com Duarte & Augusti (1998) a biota de sistemas improdutivos tende a ser fonte líquida de CO₂, enquanto que as biotas de ecossistemas altamente produtivos agem como dreno de CO₂. A alta produção aquática ocorre pela entrada de grandes quantidades de nutrientes (eutrofização) enquanto que a produção primária de ecossistemas oligotróficos é controlada pela reciclagem de matéria orgânica pelos organismos heterotróficos, resultando numa R > PPB. Biddanda *et al.* (2001) relataram maior biomassa de bactérias decompositoras em sistemas oligotróficos e diminuição da mesma em sistemas eutróficos, nos quais havia predominância de biomassa de fitoplâncton. De acordo com estes autores duas possíveis explicações para este fato são: (1) as bactérias são relativamente menos abundantes em sistemas eutróficos por estarem sujeitas a predação por organismos que consomem bactérias ou (2) possuem maior biomassa em sistemas oligotróficos pela capacidade de assimilarem nutrientes em sistemas que apresentam baixas taxas destes compostos. Assim, em ambientes oligotróficos a matéria orgânica dissolvida sustenta predominantemente a cadeia alimentar microbiana. Em águas eutróficas há um aumento na abundância de matéria orgânica particulada suportando a cadeia alimentar consistindo de grandes autotróficos e heterotróficos bacteriófagos.

Bouvy *et al.* (1998) também encontraram relação entre a taxa de crescimento bacteriano com o crescimento de produtores primários em três reservatórios na África. De acordo com estes autores, em sistemas eutróficos a biomassa bacteriana é dependente da matéria orgânica proveniente dos produtores primários dissolvida na água. Assim, a população de organismos heterotróficos é controlada pela população de organismos autotróficos fazendo com que estes sistemas apresentem metabolismo autotrófico. Carmouze *et al.* (1991) encontraram relação positiva entre entrada de algum efluente na Lagoa Fora com maior eficiência fotossintética. De acordo com estes autores o curto tempo de residência da água e seu efeito diluente em conjunto com grande entrada de nutrientes a partir da descarga de efluentes forneceram condições favoráveis ao crescimento do fitoplâncton. Desta forma, pode-se concluir que nestes reservatórios, cujo tempo de residência da água é menor que em lagos, a entrada de efluentes

provavelmente forneceu suprimento de nutrientes necessário para que a biomassa de produtores fosse maior que a de decompositores.

A barragem da COPASA apresentou a maior subsaturação de CO₂, comparada com os demais sistemas, e valores elevados de alcalinidade e condutividade em pH ligeiramente alcalino. Isto leva a crer, como discutido anteriormente, que este sistema apresenta quantidades consideráveis de nutrientes favorecendo a PPB. Entretanto, a barragem possuiu o menor valor na concentração e saturação de OD. Uma hipótese para isto é o fato deste sistema ser o mais profundo e o único a apresentar estratificação mais acentuada diurna e desestratificação noturna. Logo a mistura das camadas de água no período noturno circula o O₂ produzido durante o dia sustentando as comunidades heterotróficas das camadas mais profundas e diminuindo então sua concentração no meio (Wetzel, 2001).

4.3- *Metabolismo de carbono em sistemas aquáticos lóticos*

Dos sistemas lóticos, apenas o Rio Preto apresentou metabolismo heterotrófico líquido, liberando 81,3 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ de C. Este também foi o sistema que mostrou menor penetração luminosa com a profundidade do Disco de Sechi igual a 0,35. Os outros dois sistemas do PERPreto apresentaram autotrofia líquida, sendo que o Córrego das Éguas consumiu apenas 7 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ contra um consumo de 115,6 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ de C da Forquilha. Estes três sistemas apresentaram-se ligeiramente ácidos e mostraram os menores valores na alcalinidade e condutividade e as menores concentrações e saturações de OD (Tabela 4). Em contrapartida, o Rio Pandeiros apresentou a maior concentração e saturação de OD (8,37 mg.L⁻¹ e, 84,7%) apesar de apresentar uma autotrofia não tão expressiva, consumindo apenas 71,7 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ de C, este sistema apresentou o pH mais elevado dos demais (8,27). Além disso, este sistema apresentou alcalinidade e condutividade maior que os demais sistemas lóticos (774,9 $\mu\text{Eq.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e 65,8 $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$; Tabela 4)

São vários os fatores que distinguem os sistemas aquáticos lóticos dos demais sistemas aquáticos continentais. Dentro destes fatores podemos citar: (a) o fluxo unidirecional que faz com que a parte baixa destes sistemas lóticos seja diretamente influenciada pelos processos e fenômenos ocorridos na parte alta; (b) possuem metabolismo geralmente dependente da matéria orgânica de origem alóctone, fator relacionado ao tempo reduzido de permanência da água no sistema; (c) grande heterogeneidade espacial e temporal, uma vez que estes sistemas respondem rapidamente aos eventos de precipitação, grandes e rápidas mudanças ocorrem frequentemente na carga a partir da sua bacia de drenagem resultando em alterações nas condições químicas e físicas destes sistemas; (d) biota dos sistemas aquáticos lóticos são adaptados às condições dentro do fluxo da água (Wetzel, 2001). Desta forma, os sistemas lóticos são altamente influenciados pela sua bacia de drenagem. Esta observação levou ao desenvolvimento do Conceito de Rio Contínuo, que trata o ecossistema inteiro do rio como um pano de fundo de mudanças físicas longitudinais sobreposto pelas adaptações biológicas ao longo deste gradiente. Desta forma, características geomorfológicas e hidrológicas formam o pano de fundo fundamental ao longo da bacia de drenagem, sobre a qual as comunidades biológicas tornaram adaptadas (Vannote *et al.*, 1980).

As generalizações do RCC focalizam as variações sazonais do suprimento de matéria orgânica ao longo do contínuo (atividade fotossintética dentro do sistema lótico x entradas alóctones), estrutura trófica das comunidades de invertebrados e fracionamento do recurso ao longo do comprimento da bacia de drenagem do rio. Cabeceiras de rios com vegetação densa possuem copas mais fechadas que restringem a disponibilidade de luz resultando numa produtividade primária muito baixa. Assim, tais rios são fortemente heterotróficos e dependem da produção de matéria orgânica importada. Rios maiores, menos influenciados pela copa da vegetação ripária, ou rios de regiões desérticas têm maior produção primária dentro do canal do rio.

Isto é claramente mostrado no PERPreto. Dos três sistemas analisados o Rio Preto foi o único a apresentar metabolismo heterotrófico. Este abrange nascentes desde as altitudes de 1600 a 1400 metros, apresentando canal irregular por entre lajeados de rocha quartzítica, seu curso é condicionado aos lineamentos geológicos do terreno. Seu perfil longitudinal inicia em terreno rochoso de baixa declividade, predominando um leito plano, de fundo arenoso com bancos laterais de cascalho, associado a pequenos trechos de corredeiras. No perfil das encostas, o rio segue em desnível abrupto exclusivamente de cachoeiras e corredeiras em fundo rochoso. A partir das encostas íngremes o rio corre por entre um vale apertado até sua extensa calha aluvionar à jusante. Assim, o rio passa por um trecho estreito, onde a vegetação marginal se encontra mais densa impedindo a penetração de luz e aumentando o aporte de matéria orgânica pela queda de folhas das copas das árvores (Fig. 5), o que justifica seu metabolismo heterotrófico e a menor concentração de OD. Este sistema também apresentou o menor pH dentre os demais sistemas desta bacia, resultado da alta mineralização e liberação de dióxido de carbono no meio e, consequentemente, alcalinidade menor. Entretanto a condutividade é a maior dentre os sistemas da bacia do Rio Preto que pode ser resultado das mineralizações nas porções anteriores e liberação de nutrientes e outros íons.

Na região a montante do Córrego das Éguas, encontra-se uma extensa área de nascente predominando o talvegue em leito rochoso. Raramente são encontrados pequenos bancos de areia e neles agregados de espécies vegetais pouco diversificados, acumulando matéria orgânica carbonificada na superfície. Dentro do canal, predominam no fundo, fragmentos de rocha de tamanho matacão e calhau, nas margens e leito encontram-se pequenos poços com areia e seixos (IEF, 2004). Este sistema apresenta temperatura pouco mais elevada do que o Rio Preto e Forquilha devido ao predomínio do escoamento superficial sobre o maciço rochoso, em relação a água de infiltração no solo (IEF, 2004).

Este sistema apresentou valores de condutividade um pouco maior que os demais sistemas desta bacia, provavelmente, devido à dissolução de íons inorgânicos provenientes das

rochas que constituem o leito do córrego. Com leito aparentemente mais exposto, o Córrego das Éguas recebe maior radiação solar contribuindo para a PPB. Entretanto, mesmo apresentando metabolismo autotrófico líquido, este possui menor consumo de C. Um dos fatores que contribuem para uma PPB maior que a R, além da maior luminosidade, é a reduzida entrada de matéria orgânica alóctone e existência de poucos locais onde esta matéria orgânica possa ser depositada fazendo com que o sistema, pelo menos durante o período seco, seja sustentado pela matéria orgânica autóctone. No entanto, este autotrofismo encontrou-se reduzido provavelmente por causa da escassez de nutriente e baixa diversidade de comunidades aquáticas relatadas pelo plano de manejo do parque (IEF, 2004), o que justificaria a pequena diferença na concentração de OD entre este sistema e o Rio Preto. Outro fator que pode contribuir para o baixo autotrofismo é a existência de algumas plantas e matéria orgânica depositada ao longo do córrego. Estas produzem dióxido de carbono pela sua decomposição e contribuem para o balanço entre produção e consumo deste gás no sistema.

Dos três sistemas avaliados nesta bacia, a Forquilha apresentou maior nível de autotrofia. Esta é uma região onde o leito do rio possui declividade muito baixa formando uma grande região de remanso. O fundo é basicamente arenoso com ocorrência de alguns matacões. Esta região do Rio Preto é mais aberta e suas margens são basicamente formadas por bancos de areia e algumas gramíneas e plantas. Logo, com maior área recebendo luz mais diretamente e diminuição da correnteza a PPB é favorecida. A respiração e decomposição existente neste trecho basicamente provêm da decomposição da matéria orgânica que chega das porções anteriores do Rio Preto e seus afluentes, a qual é reduzida nesta época do ano, e da própria matéria produzida nesta porção do rio.

Diferentemente do Rio Pandeiros e dos demais sistemas aquáticos analisados, os sistemas do Rio Preto - Rio Preto, Córrego das Éguas e Forquilha - apresentaram os menores valores médios de alcalinidade, condutividade e pH (Tabela 3). Estes baixos valores são explicados pela existência de ácidos húmicos que dão a cor vermelho ocre característica das águas destes

sistemas (IEF, 2004). Estes ácidos húmicos são produtos da decomposição de plantas por algumas espécies de bactérias tanto em sistemas terrestres como aquáticos. No sistema aquático eles diminuem a capacidade tamponante do meio. Além disso, são mais fracos do que o ácido carbônico podendo neutralizá-lo impedindo assim sua dissociação num pH por volta de 4.4. Eles também reduzem a penetração de luz. Por isto, os sistemas aquáticos desta bacia mostraram valores de OD tão reduzidos. Com a diminuição da capacidade de dissociação do ácido carbônico no meio os organismos autotróficos acabam tendo PPB reduzida.

Os raros estudos realizados no alto Jequitinhonha mostram que as comunidades de organismos aquáticos são pobres, tanto em termos de variedade, quanto em quantidade. Esse padrão geral está relacionado às características físicas da região. A pobreza de nutrientes dos solos, por exemplo, é o fator que mais contribui para as baixas concentrações de nutrientes nos cursos d'água, o que por sua vez, gera uma reduzida colonização do meio aquático (IEF, 2004). Isto colabora também para a menor concentração de OD, condutividade e PPB.

O Rio Pandeiros apresentou atividade autotrófica líquida provavelmente beneficiada pela entrada de efluentes domésticos e subprodutos das atividades agrícolas que servem como fonte de nutrientes para a PPB, como discutido anteriormente. Este padrão não se mostrou diferente à jusante do reservatório apesar da diminuição dos valores de alcalinidade e condutividade e consequente consumo de CO₂. De acordo com Wetzel (2001) reservatórios são locais de retenção de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes. Assim, as regiões abaixo destes reservatórios apresentam taxas menores destes compostos. Entretanto, esta diminuição na oferta de nutrientes não impediu que o valor na concentração de OD fosse uma das maiores observadas. Uma hipótese para este valor elevado é a intensa correnteza existente neste trecho que aumenta a dissolução de O₂ atmosférico no meio. Assim, nem todo OD apresentado por este sistema é proveniente da atividade metabólica do meio, o que reforça a vantagem do método de carbono para avaliação do metabolismo diário nos sistemas aquáticos.

5- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

- De uma forma global os sistemas aquáticos do norte de Minas Gerais e Vale do Jequitinhonha mostraram-se autotróficos líquidos ao contrário dos resultados mostrados por diversos trabalhos em sistemas temperados e tropicais;
- Em geral, os sistemas mostraram produção líquida diurna e mineralização noturna;
- Os sistemas de rio, lagoa e reservatório não apresentaram diferenças em relação ao metabolismo aquático líquido provavelmente devido as grandes diferenças exibidas pelos sistemas aquáticos. Entretanto, análises mais completas fazem-se necessárias;
- Os sistemas mostraram taxas de produção e consumo de CO₂ bastante diferentes indicando que, as diferenças nas condições ambientais como, variações na temperatura, na composição química dos locais onde os sistemas estão inseridos, hidrologia dos sistemas e impactos antrópicos a que estes estão sujeitos, influenciam nas respostas metabólicas destes sistemas;
- Algumas hipóteses foram levantadas para explicar este autotrofismo sendo que a condição eutrófica dos sistemas e maior capacidade de penetração de luz mostraram ser as mais consistentes. Outro fator que, provavelmente, influenciou o metabolismo destes sistemas aquáticos foi a falta de entrada de material alóctone terrestre. O período em que as coletas foram realizadas é marcado pela seca e temperaturas elevadas durante o dia e redução destas durante a noite. Assim, além de não haver entrada de matéria orgânica, as variações da temperatura influenciam na maior variação da produção e consumo de CO₂ nos sistemas.
- A entrada de matéria orgânica, algumas vezes em forma de efluentes domésticos, favorecia tanto os processos de decomposição, sustentando a biota heterotrófica dos sistemas, quanto os processos de fotossíntese, devido a liberação dos nutrientes durante o processo de decomposição. Assim, a condição metabólica dos sistemas dependia de outras variáveis como, a profundidade e entrada de luz nos sistemas, a forma do C na água (CO₂, H₂CO₃, ou

carbonatos e bicarbonatos), existência de metais alcalinos ou alcalinos terrosos nos sistemas e a diversidade de autotróficos ou heterotróficos nos sistemas. Este último, apesar de não avaliado neste estudo, mostrou ser uma variável importante que deve ser considerada em estudos sobre o metabolismo dos sistemas aquáticos.

Assim, este estudo oferece bases importantes para estudos futuros mais detalhados a fim de compreender melhor o metabolismo e os fatores que o influenciam nos sistemas aquáticos nortemineiros, apesar de ser limitado espacial e temporalmente, pois os sistemas são específicos e a análise baseada numa única amostragem diária. Estes sistemas se encontram numa região extremamente biodiversa e inexplorada, com condições físico-químicas da região, do ecossistema e de suas bacias de drenagem extremamente diferentes dos demais sistemas até então avaliados.

Carmouze *et al.* (1991) sugere que sistemas aquáticos apresentam grandes variações no metabolismo em seus ciclos nictimerais e encontraram certa padronização deste metabolismo em escala de tempo sazonal. Bellester & Santos (2001) definem o período de chuvas como o principal responsável pelo aumento do aporte de matéria orgânica, aumento da temperatura e do volume de água nos sistemas aquáticos resultando numa atividade heterotrófica. Dodds (2006) e Biddanda *et al.* (2001) entre outros mostram que o estado nutricional do sistema determina a prevalência de autotróficos ou heterotróficos definindo assim o estado trófico deste. Marotta (2006) e Shindler *et al.* (1997) sugerem que além da disponibilidade de recursos aos organismos na teia trófica (radiação luminosa, nutrientes, matéria orgânica), a influência dos níveis tróficos superiores sobre os inferiores (existência de predadores e herbívoros) também regulam o metabolismo dos sistemas aquáticos.

Sendo assim, estudos mais detalhados dos sistemas fazem-se necessários devido aos diferentes resultados dos parâmetros analisados. Estes sistemas provavelmente estão sujeitos a vários fatores que influenciam no metabolismo e não foram mensurados neste trabalho. Logo, medir o metabolismo em escalas sazonal e anual, verificar as variações em diferentes ciclos

diários, medir variações nas concentrações de nutrientes e variação na penetração de radiação luminosa pode responder inúmeras questões levantadas sobre estes sistemas aquáticos e oferecer subsídios para estudos mais complexos relacionados ao metabolismo e seus reguladores. Só assim poderemos entender a ecologia, avaliar os efeitos dos impactos antrópicos e sugerir ações para conservação e recuperação dos sistemas aquáticos norte – mineiros.

6- REFERÊNCIAS

- BALLESTER, M. V. R. & SANTOS, J. E. 2001. Biogenic gases in Tropical Floodplain River. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44(2):141-147.
- BARBIERI, R. & ESTEVES, F. A. 1991. The chemical composition of some aquatic macrophyte species and implication for the metabolism of a tropical lacustrine ecosystem – Lobo Reservoir, São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 213:133-140.
- BENNEACEUR, K. I.; GUPTA, N.; MONEA, M.; RAMAKRISHNAN, T. S.; RANDEN, T.; SAKURAI, S. WHITTAKER, S. 2004. CO₂ capture and storage –A solution within. Oilfield review. Na web site: www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/ors04/aut04/05_co2_capture_and_storage.pdf.
- BIDDANDA, B.; OGDAHL, M.; COTNER, J. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. *Limnol. Oceanogr.*, 43(3):730-739.
- BOUVY, M.; ARFI, R.; CECCHI, P.; CORBIN, D.; PAGANO, M.; SAINT-JEAN, L.; THOMAS, S. 1998. Trophic coupling between bacterial and phytoplanktonic compartments in shallow tropical reservoirs (Ivory Coast, West Africa). *Aquat. Microb. Ecol.* 15:25-37.
- BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; ROLAND, F.; SUZUKI, M. S. 1992. Padrões e funcionamento das lagoas do Baixo Rio Doce: variáveis abióticas e clorofila a (Espírito Santo – Brasil). *Acta. Limnol. Brasil*, 4:13-31.
- CARACO, N. F. & COLE, J. J. 2004. When terrestrial organic matter is sent down the river: Importance of allochthonous C inputs to the metabolism in lakes and rivers. In: Polis A.; Power, M. E.; Huxel, G. R, Eds. Food webs at the landscape level. Press: University of Chicago press. p 301-316.

- CARMOUZE, J.P., 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Ed. Edgard Blücher e FAPESP. 253p.
- CARMOUZE, J. P., KNOPPERS, B.; VASCONCELOS, P. 1991. Metabolism of a subtropical Brazilian lagoon. *Biogeochemistry*, 14: 129-148.
- CHAPIN III, F. S. ; WOODWELL, G. M ; RANDERSON, J. T.; RASTETTER, E. B. LOVETT, G. M. BALDOCCHI, D. D. CLARK, D. A. HARMON, M. E. SCHIMEL, D. S. VALENTINI, R.; WIRTH, C. ABER, J. D.; COLE, J. J.; GOULDEN, M. L.; HARDEN, J. W.; HEIMANN, M.; HOWARTH, R. W.; MATSON, P. A.; MCGUIRE, A. D. ; MELILLO, J. M.; MOONEY, H. A. ; NEFF, J. C. ; HOUGHTON, R. A. ; PACE, M. L. ; RYAN, M. G. ; RUNNING, S. W. ; SALA, O. E. ; SCHLESINGER, W. H. AND. SCHULZE, E..D. 2006. Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems*. 9: 1041–1050.
- COLE, J. J.; PRAIRIE, Y. T. ; CARACO, N. F.; McDOWELL, W. H.; TRANVIK, L. J.; STRIEGL, R. G.; DUARTE, C. M.; KORTELAINEN, P.; DOWNING, J. A.; MIDDELBURG, J. J.; MELACK, J. 2007. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-006-9013-8.
- COLE, J. J.; CARACO, N. F.; KLING, G. W.; KRATZ, T. K. 1994. Carbon – Dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science*, 265(5178):1568-1570.
- COLE, J. J & CARACO, N. F. 2001. Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Mar. Freshwater Res.*, 52:101-110.
- COLE J. J.; PACE, M.L.; CARPENTER, S.R.; KITCHELL, J.F. 2000. Persistence of net heterotrophy lakes during nutrient addition and food web manipulations. *Limnol. Oceanogr.*, 45(8): 1718-1730.

- COLE, J. J. 1999. Aquatic microbiology for ecosystem scientists: New and recycled paradigms in ecological microbiology. *Ecosystems*, 2: 215-225.
- COLE, G. A. 1994. Textbook of limnology. Ed. Waveland Press, Inc. 4^a edição, 411p.
- COPASA. Relatório de Controle Ambiental: projeto de expansão do sistema de esgotos sanitários da bacia do córrego Melancias. Montes Claros/MG, 1993.
- DA SILVA, C. J. & ESTEVES, F. A. 1995. Dinâmica das caracrtísticas limnológicas das baías Porto de Fora e A curizal (Pantanal de Mato Grosso) em função da variação do nível da água. *Oecologia Brasiliensis*. Vol I: Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros. Esteves, F. A (edt):47-60.
- del GIORGIO, P. A.; COLE, J. J.; CARACO, N. F.; PETERS R. H. 1999. Linking planktonic biomass and metabolism to net gas fluxes in northern temperate lakes, *Ecology*, 80(4):1422– 1431.
- DODDS, K. W. 2006. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnol. Oceanogr.* 51(1;part 2):671-680.
- DUARTE, C. M. & PRAIRIE, Y. T. 2005. Prevalence of Heterotrophy and Atmospheric CO₂ Emissions from Aquatic Ecosystems. *Ecosystems*, 8: 862–870
- DUARTE, C. M. & AGUSTI, S. 1998. The CO₂ balance of unproductive aquatic ecosystems. *Science, New Series*, 281(5374):234-236.
- ESTEVES, F. A. & NOGUEIRA, F. 1995. The influence of floating meadows and hydrological cycles on the main abiotic characteristics of a tropical oxbow lake. *Oecologia Brasiliensis*. Vol I: Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros. Esteves, F. A (edt):117-128.
- FIELD, C. B.; BEHRENFELD, M. J. RANDERSON, J. T.; FALKOWSKI, P. 1998. Primary production of the biosfere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281: 237-240.

- FINDLAY, S.; PACE, M. L.; LINTS, D.; COLE, J.; CARACO, N.; PEIERLS, B. 1991. Weak coupling of bacterial and algal production in a heterotrophic ecosystem: The Hudson River estuary. *Limnology and Oceanography*, 36:268-278.
- FRANÇA, I. S. 2008. A cidade media e suas centralidades: o exemplo de Montes Claros no norte de Minas Gerais. *Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós Graduação em Geografia.* Na web site: http://www.ig.ufu.br/posgrad/disserta/2007/bara_soares.pdf. Acessado em 07 de Junho de 2008. 240p
- GEIDER, R. J.; LUCIA, E. H.; FALKOWSKI, P.G.; FINZI, A. C.; GRIME, J. P.; GRACE, J.; KANNA, T. M.; LA ROCHE, J.; LONG, S. P.; OSBORNE, B.A.; PLATT, T.; PRENTICE, I. C.; RAVEN, J. A.; SCHLESINGER, W. H.; SMETACEK, V.; STUART, V.; SATHYENDRANATH, S.; THOMAS, R. B.; VOGELMANN, T. C.; WILLIAMS, P.; WOODWARD, F. I. 2001. Primary productivity of planet earth: biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats. *Global Change Biology*. 7: 849-882
- HANSON, P. C.; BADE, D. L.; CARPENTER, S. R.; KRATZ, T. K. 2003. Lake metabolism: Relationships with dissolved organic carbon and phosphorus, *Limnol. Oceanogr.* 48(3), 1112–1119.
- HANSON, P. C.; POLLARD, A. I.; BADE, D. L.; PREDICK, K.; CARPENTER, S. R.; FOLEY, J. A. 2004. A model of carbon evasion and sedimentation in temperate lakes. *Global Change Biol.* 10, 1285–1298.
- IEF-Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD/MG. Belo Horizonte, 2000. 30 p.
- IEF – Instituto Estadual de Florestas. 2004. Plano de manejo do Parque Estadual do Rio Preto. Relatório Técnico. Vol 1, encarte 3 – Análise da Unidade de Conservação. Curitiba/PR. 234 p.

- IGA – Instituto de Geociências Aplicadas. 2006. Áreas de proteção ambiental no estado de minas gerais: Demarcação e estudos para o pré-zoneamento ecológico - APA Bacia do Rio Pandeiros. Relatório Técnico. 271p.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press, Great Britain.
- KERR, R. A. 2006. Global Change – No doubt about it, the world is warming. *Science*. 312(5775): 97-114.
- KUMP, L. R. 2002. Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver. *Nature*, 419(6903):188-190.
- LAMPARELLI, M. C. & SOUZA, M. H. A. O. 1992. Decomposição de celulose e folheto misto no Rio Itaqueri, Itirapina, S. P. *Acta Limnol. Brasil*, 4:81-93
- MARANGER, R. J.; PACE, M. L.; del GIORGIO, P. A.; CARACO, N. F.; COLE, J. J. 2005. Longitudinal spatial patterns of bacterial production and respiration in a large river – estuary: implications for ecosystem carbon consumption. *Ecosystems*, 8: 318-330.
- MAROTTA, H. 2006. Os fatores reguladores do Metabolismo Aquático e sua influência sobre o fluxo de Dióxido de Carbono entre os Lagos e a Atmosfera. *Oecol. Bras.*, 10 (2): 177-185.
- MERCANTE, C. T. J. & BICUDO, C. E. M. 1996. Variação espacial e temporal de características físicas e químicas no açude do Jacaré, Moji Guaçu, Estado de São Paulo. *Acta Limnologica Brasiliensis*. 8: 75-101.
- NECHI, O. Jr & PASCOALOTO, D. 1993. Seasonal dynamics of macroalgal communities in the Preto River Basin, São Paulo, southeastern Brazil. *Arch. Hydrobiol*, 129:231-252.

- NECHI, O. Jr; BRANCO, L. H. Z.; BRANCO, C. C. Z. 1996. Análise nictimeral e sazonal de algumas variáveis limnológicas em um riacho no noroeste do estado de São Paulo. *Acta Limnol. Brasil.* 8:169-182
- NETO, J. P.; ALVIN A. M.; ALBERTO C. 2001. Avaliação da Capacidade Produtiva do Reservatório de Regularização do Rio Juramento. COPASA/MG.
- NEUE, H.U.; GAUNT, J.L.; WANG, Z.P.; BECKER-HEIDMANN, P.; QUIJANO, Q. 1997. Carbon in tropical wetlands. *Geoderma.* 79 (1997) 163-185
- ODUM, E. P. 1956. Primary production in flowing waters. *Limnol. Oceanogr.* 1:102-117.
- ONU. 1998. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. ONU. Nova York.
- PAYNE, A. I. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. Chichester, John Wiley & Sons, 301p.
- PEDROSA, P. & REZENDE, C. E. 2000. Dissolved inorganic carbon and metabolism of an eutrophic lacustrine system: variations from a 36-hours study. *Rev. Brasil. Biol.*, 60(4): 607-614.
- PETERSON, B. J. 1955. An investigation of the pollutional effects in Lake Washington (1952 – 1953). In: QUAY, P. D.; EMERSON, S. R.; QUAY, B. M.; DEVOL, A. H. 1986. The carbon cycle for Lake Washington – A stable isotope study. *Limnol. Oceanogr.*, 31(3), 596 – 611.
- PRAIRIE, Y. T.; BIRD, D. F.; COLE, J. J. 2002, The summer metabolic balance in the epilimnion of southeastern Quebec lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 47(1), 316– 321.
- QUAY, P. D.; EMERSON, S. R.; QUAY, B. M.; DEVOL, A. H. 1986. The carbon cycle for Lake Washington – A stable isotope study. *Limnol. Oceanogr.*, 31(3), 596 – 611.

- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- RAYMOND, P. A.; CARACO, N. A.; COLE, J. J. 1994. Carbon dioxide concentration and atmospheric flux in the Hudson River. *Estuarine Research Federation*, 20(2):381-390.
- RAYMOND, P.A.; BAUER, J. E.; COLE, J. J. 2000. Atmospheric CO₂ evasion, dissolved inorganic carbon production, and net heterotrophy in the York River estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 45(8), 2000, 1707–1717.
- RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, A. K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, 416:617-620.
- SCHINDLER, D. E.; CARPENTER, S. R.; COLE, J. J.; KITCHELL, J. F.; PACE, M. L. 1997. Influence of food web structure on carbon exchange between lakes and atmosphere. *Science*. 277(5323): 248-251.
- SOBEK, S.; ALGESTEN, G.; BERGSTRO, A. K.; JANSSON, M. M.; TRANVIK, L. J. 2003. The catchment and climate regulation of pCO₂ in boreal lakes. *Global Change Biol.* 9, 630–641.
- SOBEK, S.; TRANVIK, L. J.; COLE, J. J. 2005. Temperarure independence of carbon dioxide supersaturation in global lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 19: GB2003, doi:10.1029/2004GB002264
- THOMAZ, S. M.; ENRICH-PRAST, A.; GONÇALVES JR., J. F.; SANTOS, A. M. ESTEVES, F. A. 2001. Metabolism and Gaseous Exchanges in Two Coastal Lagoons from Rio de Janeiro with Distinct Limnological Characteristics. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 44(4): 433 – 438.

TRANVIK, L. J. 1989. Bacterioplankton growth, grazing mortality and quantitative relationship to primary production in a humic and Clearwater lake. *J. Plank Res.* 11(5), 985-1000.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.

WETZEL, R. G. 2001. Limnology – Lake and River Ecosystems. Ed. Elsevier Academic Press. 3^a edição, 1006p.