



METABOLISMO DIÁRIO DE CARBONO EM SISTEMAS AQUÁTICOS LÊNTICOS DO NORTE DE MINAS.

L. M. Gagliardi¹

A. M. Santos¹

(1) Universidade Estadual de Montes Claros, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Biologia Geral, Campus Universitário Professor Darci Ribeiro, CEP: 39401 - 089, Laboratório de Limnologia e Macrófitas Aquáticas, prédio 2, sala 98. gagliardibio@gmail.com

INTRODUÇÃO

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.*, 1991). Portanto, estes processos são considerados as vias metabólicas mais importantes nos ecossistemas aquáticos (Cole *et al.*, 2000). Em ambientes aquáticos, embora a produção primária sustente cadeias tróficas altamente produtivas, estes são também locais de intenso catabolismo de carbono orgânico originado desta produção interna e de materiais exportados a partir de sistemas terrestres (Cole & Caraco, 2001). Os ecossistemas aquáticos são componentes críticos do metabolismo da biosfera e da troca do CO₂ com a atmosfera (Duarte & Prairie, 2005). 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 dissolvido nas águas, enquanto que a noite, na ausência destas radiações, a mineralização produz uma inversão nas concentrações destes gases. O balanço dos processos metabólicos aquáticos gera desequilíbrios gasosos em relação à atmosfera, o que pode oferecer indicações de prevalência de auto ou heterotrofia. Sistemas cuja razão Produtividade Primária Bruta (PPB) / Respiração (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 & Prairie, 2005; Raymond *et al.*, 2000).

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. Raymond

et al., 2000; 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; Duarte & Prairie, 2005).

Apesar dos estudos sobre metabolismo aquático terem seu início 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 e expressivas peculiaridades como alta incidência solar e elevada temperatura ao longo de todo o ano. Entre as regiões brasileiras as diferenças ambientais, como temperatura, pluviosidade, composição nutricional dos solos e composição vegetal, são marcantes podendo resultar em diferentes condições metabólicas de sistemas aquáticos. Nenhum trabalho desta natureza foi realizado até o momento no 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, que apresenta temperaturas mais elevadas e índices menores de pluviosidade comparado às demais regiões. Estas e outras variações ambientais podem levar a uma condição metabólica diferente das encontradas em outros sistemas aquáticos até o momento.

OBJETIVOS

Com base nas variações diárias das concentrações de CO₂ total, este trabalho realizou estimativas do metabolismo nictimeral em diferentes sistemas aquáticos encontrados no Norte Minas Gerais inferindo sobre seu papel no seqüestro de carbono, ou seja, se estes ambientes agem como fontes ou drenos de CO₂ para a atmosfera.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em seis sistemas aquáticos lênticos com características e usos distintos situados no Norte de Minas Gerais. Avaliou-se a Lagoa da Prata no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS) e a Lagoa dos Patos (16°42'S /43°50'W), localizada no Parque Municipal Milton Lopes, área urbana de Montes Claros. Na Lagoa da Prata, dois locais foram destacados para o estudo: uma região predominantemente livre de plantas aquáticas (14°51'S/43°56'W) e outra, permanentemente, dominada por banco de macrófitas enraizadas emersas (14°51'S/43°56'W). 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). Avaliou-se também a barragem da COPASA no Município de Juramento (16°46'S/43°39'W), a Lagoa de Interlagos (16°54'S /43°53'W), também na região urbana de Montes Claros, e a barragem da Pequena Central Hidroelétrica da CEMIG no Rio Pandeiros (15°28'S/44°44'W) inserida na APA de Pandeiros.

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. Nesta região a composição vegetal predominante é o cerrado e suas variações, caatinga arbórea no PEMS e mata ciliar.

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. 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 com auxílio de uma Garrafa de Van Dorn. Estas amostras foram retiradas de quatro profundidades pré-determinadas com o disco de Secchi (100, 10, 1% de penetração de luz e afótica) em cada sistema. Os cálculos da alcalinidade e do metabolismo foram obtidos de acordo com o método proposto por Carmouze (1994).

Com auxílio de sensores portáteis de campo foram estimados *in situ* os seguintes parâmetros da coluna d'água: temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido. Estes parâmetros foram medidos nos mesmos intervalos e profundidades de coleta de água. A transparência da água foi estimada através da profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi, assumindo-se que esta profundidade corresponde, em média, a 10% da luz incidente na superfície.

RESULTADOS

De todos os sistemas aquáticos estudados apenas dois 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.m⁻².d⁻¹. Este sistema apresentou o segundo mais baixo valor de profundidade do Disco de Secchi, e baixos valores na concentração e saturação de OD (3,19 mg.L⁻¹ e 36,07%, respectivamente). Outro sistema heterotrófico foi a Lagoa dos Patos no Parque Municipal. Apesar de mostrar-se ligeiramente heterotrófico, liberando 59,8 μMol.m⁻².d⁻¹ de C, este sistema apresentou os valores mais elevados de alcalinidade e condutividade (3013,5 μEq.L⁻¹.d⁻¹ e 461 μS.cm⁻¹.d⁻¹, respectivamente), pH alcalino (8.26) e alta concentração e saturação de OD (5,39 mg.L⁻¹ e 66,9%). 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 μMol.m⁻².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. 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. 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 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 (Cole, 1994; Carmouze *et al.*, 1991), reduzindo assim o pH e alcalinidade. Por outro lado, este acréscimo de nutrientes pode favorecer o autotrofismo (Dodds, 2006; Biddanda *et al.*, 2001). A Lagoa da Prata retrata bem esta condição. A compartimentalização horizontal apresentada por ela ocorre devido a presença dos bancos de plantas aquáticas emersas enraizadas e flutuantes distribuídas de forma heterogênea no sistema (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 à decomposição da biomassa morta das plantas aquáticas que eleva os teores de CO₂ no sistema e diminui a alcalinidade. A maior condutividade deve-se a liberação de nutrientes pela decomposição, pois apresenta valor mais elevado na região do banco de macrófitas 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. Compar-

ativamente, 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.

Apesar da alta concentração e saturação de OD apresentada pela Lagoa dos Patos no Parque Municipal, esta apresentou um heterotrofismo líquido baixo. 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. Por outro lado, 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).

Os sistemas de represa deste estudo mostraram - se predominantemente autotróficos líquidos 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. A barragem da PCH e a Lagoa da Pampulha recebem efluentes domésticos, ou como matéria orgânica ou como nutriente inorgânico, proveniente das suas bacias de drenagem, oferecendo condições para ambos os 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 serem sistemas rasos e desestratificados, 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 na PCH. 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 (Cole, 1994). Já a Lagoa da Pampulha encontra - se 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 o que justifica o menor valor de OD comparando - se com a PCH (Cole, 1994).

Por fim, a barragem da COPASA apresentou a maior sub-

saturação 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. A provável causa 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.

CONCLUSÃO

De uma forma geral os sistemas aquáticos do norte de Minas Gerais mostraram - se autotróficos líquidos ao contrário dos resultados mostrados por diversos trabalhos em sistemas temperados e tropicais. Entretanto, 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 sugeridas para explicar este autotrofismo sendo que a condição eutrófica dos sistemas e maior capacidade de penetração de luz mostraram ser as mais consistentes.

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 (Dodds, 2006; Biddanda *et al.*, 2001).

Assim, a condição metabólica dos sistemas dependia de outras variáveis como, a profundidade e entrada de luz, a forma do C na água, existência de metais alcalinos ou alcalinos terrosos e a diversidade de organismos autotróficos ou heterotróficos. Estudos mais detalhados destes sistemas fazem - se necessários devido aos diferentes resultados dos parâmetros analisados. Entretanto, 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 norte - mineiros. Estes sistemas se encontram numa região extremamente diversa e inexplorada, com condições físico - químicas da região, do ecossistema e de suas bacias de drenagem extremamente diferentes dos demais sistemas aquático até então avaliados.

AGRADECIMENTOS

Este resumo é uma parte do trabalho de dissertação sobre Metabolismo Diário dos sistemas aquáticos continentais do Norte e Vale do Jequitinhonha de Minas Gerais. Um agradecimento especial ao apoio financeiro oferecido pela FAPEMIG e Tropi Dry.

REFERÊNCIAS

- Biddanda, B.; Ogdahl, M.; Cotner, J. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. *Limnol. Oceanogr.*, 43(3):730 - 739.
- Carmouze, J. P., Knoppers, B.; Vasconcelos, P. 1991. Metabolism of a subtropical Brazilian lagoon. *Biogeochemistry*, 14: 129 - 148.
- Carmouze, J.P. 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Ed. Edgard Blücher e FAPESP. 253p.
- 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 & Caraco, N. F. 2001. Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Mar. Freshwater Res.*, 52:101 - 110.
- Da Silva, C. J. & Esteves, F. A. 1995. Dinâmica das características 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.
- 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
- 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
- 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.
- Odum, E. P. 1956. Primary production in flowing waters. *Limnol. Oceanogr.* 1:102 - 117.
- 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.
- 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.