

RELAÇÃO POSITIVA ENTRE PLUVIOSIDADE, CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO E A SUPERSATURAÇÃO DE CO₂ EM UMA LAGOA COSTEIRA TROPICAL

Humberto Marotta^{1,2}, Luana Pinho^{1,2} & Alex Enrich-Prast¹

¹Laboratório de Biogeoquímica, Depto. de Ecologia, Inst. de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Ilha do Fundão. Caixa Postal: 68020, CEP: 21941-590. Rio de Janeiro, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Inst. de Biologia, UFRJ. Ilha do Fundão. CEP: 21941-590, Caixa Postal: 68020. Rio de Janeiro, Brasil.

*Email: humbertomarotta@gmail.com

RESUMO

Lagos são potencialmente importantes na condução de carbono de fontes terrestres para a atmosfera. Nossa hipótese foi que o carbono orgânico dissolvido (COD) e a supersaturação de CO₂ poderiam ser incrementados em uma lagoa oligotrófica tropical durante os meses chuvosos. O delineamento do estudo incluiu três estações de coleta na lagoa costeira Carapebus (RJ, Brasil): CAR 1 (área central colonizada por macrófitas aquáticas submersas), CAR 2 (área central sem macrófitas) e CAR 3 (área marginal colonizada por macrófitas aquáticas emersas). Foram analisados entre 2003 e 2004, quatro meses no período chuvoso e três no período seco. Os meses chuvosos apresentaram valores de COD, saturação de CO₂ e coloração significativamente maiores do que os secos (Tukey-Kramer; $p < 0,05$). CAR 1 foi caracterizada por valores de subsaturação de CO₂ durante o período seco, enquanto CAR 3 mostrou maior supersaturação de CO₂, coloração e COD do que as outras estações. A alta correlação positiva entre COD e saturação de CO₂ ao longo do tempo de estudo foi observada em todas as estações de coleta (Correlação de Pearson; $p < 0,05$). Em conclusão, a heterogeneidade intra-lagunar e temporal da saturação de CO₂ pode ser uma importante característica das lagoas tropicais. O balanço entre a vegetação submersa reduzindo o CO₂ e as macrófitas aquáticas emersas ou fontes terrestres aumentando-a contribuíram para esta heterogeneidade. Nossos resultados sugeriram que lagoas brasileiras poderiam apresentar intenso aumento na saturação de CO₂ em períodos chuvosos, possivelmente sustentados pelo aporte terrestre.

Palavras-chave: Lagos tropicais, chuva, COD, supersaturação de CO₂.

ABSTRACT

POSITIVE RELATIONSHIP AMONG RAINFALL, DOC AND CO₂ SUPERSATURATION IN A TROPICAL COASTAL LAGOON. Lakes are potentially important conduit for carbon from terrestrial sources to the atmosphere. Our hypothesis was that both dissolved organic carbon (DOC) and CO₂ supersaturation might increase in a tropical oligotrophic lagoon during rainy months. The study design included three sampling stations in Carapebus coastal lagoon (RJ, Brazil): CAR 1 (central area colonized by submerged aquatic macrophytes), CAR 2 (central area without macrophytes) and CAR 3 (marginal area colonized by emerged aquatic macrophytes). Four months in a rainy period and three in a dry were analyzed between 2003 and 2004. Rainy months showed significant higher values of DOC, CO₂ and coloration than dry ones (Tukey-Kramer; $p < 0.05$). CAR 1 was characterized by CO₂ undersaturation during the dry period, while CAR 3 showed higher CO₂ supersaturation, coloration and DOC among sampling stations. A high positive relationship between DOC and CO₂ along the study time was also observed in all sampling stations (Pearson correlation; $p < 0.05$). In conclusion, intra-lake and temporal heterogeneity for CO₂ saturation might be important features in tropical lakes. The balance between submerged vegetation reducing CO₂ and emerged aquatic macrophytes or terrestrial sources increasing it contributed to this heterogeneity. Our results suggested that Brazilian lagoons might show strong enhancements in CO₂ saturation in rainy periods probably supported by terrestrial inputs.

Keywords: Tropical lakes, rainfall, DOC, CO₂ supersaturation.

INTRODUÇÃO

Os lagos são ecossistemas aquáticos amplamente distribuídos na superfície terrestre (Downing *et al.* 2006), sendo reconhecidos como importantes ambientes de acumulação de matéria orgânica e inorgânica pela freqüente posição terminal na bacia de drenagem (Lennon 2004). Os compostos orgânicos são recursos para mineralização biológica ou físico-química que produz gás carbônico (CO₂) nos ambientes aquáticos. Desta forma, o aporte de carbono orgânico ou mesmo inorgânico de origem terrestre pode contribuir significativamente para aumentar a saturação de CO₂ (%CO₂) nos lagos (Cole *et al.* 2007). Devido a essas peculiaridades, os lagos são potencialmente importantes na condução de carbono entre as fontes terrestres e o meio atmosférico (Cole *et al.* 1994), apresentando uma grande freqüência de supersaturação de CO₂ na coluna d'água em escala global, a qual poderia alcançar 90% (Sobek *et al.* 2005).

Apesar de sua natureza química mais refratária em relação ao de origem autóctone, o carbono orgânico dissolvido (COD) advindo de fontes terrestres pode até sustentar altos níveis das cadeias tróficas de lagos (Pace *et al.* 2004). O COD terrestre é geralmente pigmentado, sendo rico em compostos húmicos e fúlvicos de tonalidade marrom, amarela ou mesmo preta (Wetzel 2001). Em geral, os lagos húmicos apresentam baixa produção primária autóctone e alta influência do aporte terrestre, resultando em altas concentrações de COD alóctone associadas à supersaturação de CO₂ (Jonsson *et al.* 2003).

Além disso, a maioria dos lagos do planeta são rasos (Wetzel 1990), condição que favorece a produção de macrófitas aquáticas (Neue *et al.* 1997, Rooney *et al.* 2003). Ao apresentarem grande abundância, estes vegetais também podem constituir importante fonte de carbono orgânico para o ecossistema lagunar. As macrófitas aquáticas emersas constituem recurso à atividade heterotrófica líquida na coluna d'água (Kuehn & Suberkropp 1998), enquanto as macrófitas submersas são incorporadores líquidos de CO₂ subaquático (Krause-Jensen & Sand-Jensen 1998). Associada à disponibilidade de nutrientes, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é um recurso essencial às macrófitas aquáticas submersas, cuja redução em determinados períodos

do ano pode causar declínio da produtividade ou mesmo, incremento da mortandade dessa vegetação (Moore & Wetzel 2000).

A costa brasileira apresenta alta abundância de lagos rasos húmicos caracterizados pela intensificação do aporte alóctone de COD pigmentado nos períodos chuvosos, que resulta em aumento de profundidade e de coloração da coluna d'água (Farjalla *et al.* 2002). O presente estudo pretendeu avaliar a relação entre o aumento de profundidade, COD e coloração em um período chuvoso (indicando intensificação do aporte orgânico e inorgânico terrestre) e a supersaturação de CO₂ nas águas superficiais de uma lagoa tropical oligotrófica húmica. Testamos a hipótese de que as concentrações de COD e a supersaturação de CO₂ poderiam aumentar no período chuvoso, tanto nas áreas marginais colonizadas por macrófitas aquáticas emersas, quanto em áreas centrais colonizadas ou não por grandes estandes de macrófitas submersas.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O ecossistema aquático estudado foi a lagoa costeira Carapebus (22°13' S e 41°36' W), localizada no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (Norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil). O clima desta área é tropical (Barbière & Coe Neto 1999). As normais climatológicas do período entre 1961 e 1990 (INMET 1992) evidenciam uma temperatura mensal média mínima de 20,7°C em julho e máxima de 26,2°C em fevereiro. A pluviosidade mensal média mínima de 38mm é referente a agosto e a máxima de 182mm a dezembro (INMET 1992), embora a variação inter-anual seja elevada em razão da ação de massas de ar úmidas do mar (Carmouze *et al.* 1991).

A lagoa Carapebus é rasa (profundidade média de 2,4m), húmica (concentrações média de COD em torno de 13mg.L⁻¹) e oligotrófica segundo a classificação pelos níveis de fósforo e clorofila-*a* (Salas & Martino 1991). É uma lagoa circundada pela vegetação costeira típica do litoral brasileiro (Restinga), que apresenta 6,5km² de área e morfologia dentrítica acompanhando as ondulações da planície arenosa (CPRM 2000). A estrutura de solo arenoso e a vegetação abundante de compostos refratários da restinga propiciam a lixiviação de COD pigmentado terrestre para coluna d'água dessa

lagoa, uma dinâmica que é intensificada pela ação das chuvas (Farjalla *et al.* 2002). Na porção próxima ao cordão arenoso que a separa do mar, a lagoa apresenta extensos estandes de macrófitas aquáticas submersas, especialmente *Potamogetum stenostachys*. Na porção central ao eixo transversal, não há o estabelecimento de macrófitas aquáticas. Já a área marginal é densamente colonizada por macrófitas aquáticas emersas, principalmente *Typha domingensis*.

ESTAÇÕES E PERÍODOS DE COLETA

Os valores de saturação de CO₂ (%CO₂; inferida por pH e alcalinidade), carbono orgânico dissolvido (COD), coloração e profundidade de Secchi foram avaliados entre meses mais secos e chuvosos na lagoa Carapebus. Foram consideradas três estações de coleta de acordo com a presença de macrófitas aquáticas: CAR 1 (zona de maior influência marinha e densidade de macrófitas aquáticas submersas), CAR 2 (zona central e sem macrófitas aquáticas) e CAR 3 (zona marginal, onde há alta abundância de

macrófitas aquáticas emersas) (Figura 1). As estações apresentaram condições oligotróficas, com similares concentrações de fósforo total (cerca de 0,8 μmol.L⁻¹), nitrogênio total (cerca de 55 μmol.L⁻¹) e clorofila-*a* (cerca de 5 μg.L⁻¹) em todos os meses estudados.

Entre os anos de 2003 e 2004, foram analisados sete meses classificados em períodos mais secos e mais chuvosos de acordo com os valores de pluviosidade acumulada (PA; Tabela I).

Tabela I. Pluviosidade acumulada (PA, em mm) nos meses de coleta na lagoa de Carapebus, Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ.

Table I. Accumulated rain incidence (PA, in mm) over the sampling months in Carapebus lagoon, Rio de Janeiro state, Brazil.

Período	Mês/ Ano	PA de 1 Mês (mm)	PA de 3 Meses (mm)
Mais Seco	fev/03	4,5	295,8
	jul/03	58,2	139,6
	set/03	37,5	271,5
Mais	mar/04	122,1	356,2
Chuvoso	abr/04	118,3	365,4
	ago/04	131,9	278,9
Mais Seco	out/04	72,8	181,6

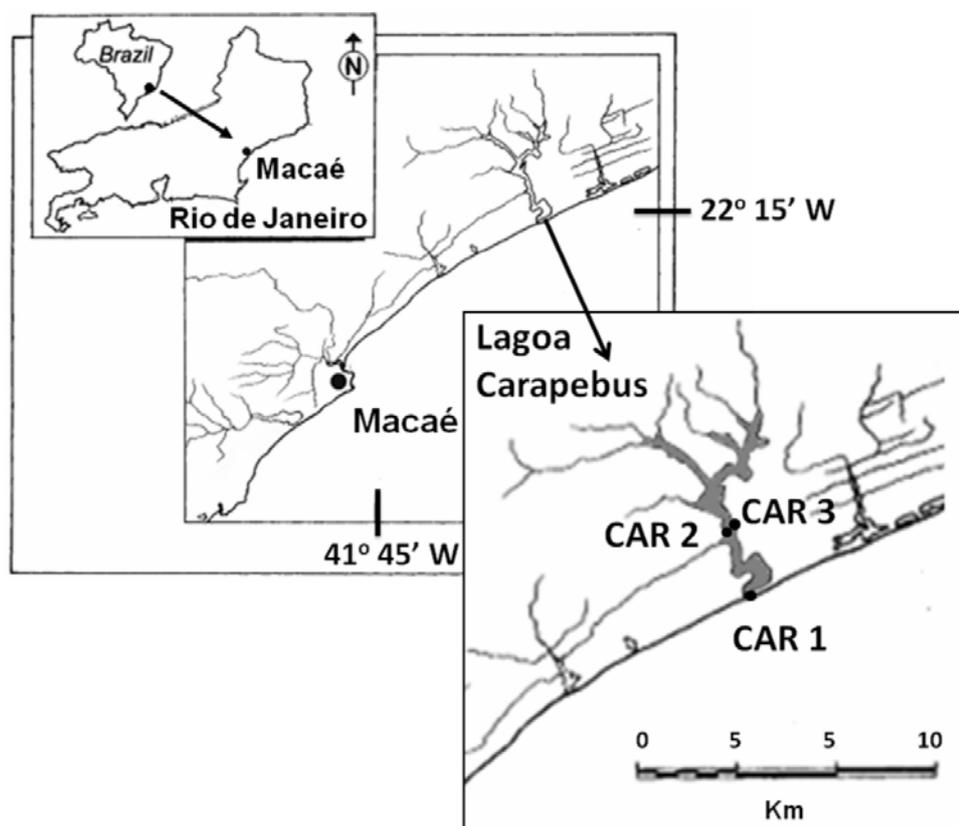


Figura 1. Localização geográfica da lagoa Carapebus (Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brasil) e das estações de coleta (CAR 1, CAR 2 and CAR 3). Figure 1. Geographic location of the studied lagoons and sampling areas.

Figure 1. Geographic position of the Carapebus Lagoon (National Park of Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brazil) and sampling stations (CAR 1, CAR 2 and CAR 3).

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E AVALIAÇÃO DO METABOLISMO AQUÁTICO

Amostras de água foram previamente filtradas em filtro Whatman GF/F de 47 mm para análises de coloração (COR) por leitura espectrofotométrica em 430 nm e de concentrações de COD, usando um analisador de carbono (Shimadzu TOC-5000). A análise comparativa da disponibilidade de RFA foi realizada por meio da razão entre os valores de disco de Secchi (D_{Sec}) e de profundidade (D_{Max}), pois quanto maior esta razão menor é a atenuação da RFA na coluna d' água (Havens et al.1998).

A temperatura da água, salinidade, pH e alcalinidade foram amostrados nos horários 6:00, 10:00, 14:00 e 18:00 (n=3 dias). A coleta destas variáveis foi realizada na superfície e no fundo de cada estação com uso de garrafa de Van Dorn, evitando-se a formação de bolhas de ar. Já as amostras de água para análise de nitrogênio e fósforo totais, COD, coloração e clorofila-*a* (biomassa fitoplancônica) foram coletadas em profundidade intermediária da coluna d' água no último horário de cada campanha mensal.

O pH foi medido com um pHmetro Micronal (Analion PM 608), cuja precisão foi de 0,01. A alcalinidade foi determinada por titulação de ácido sulfúrico 0,01N conforme a função de Gran (Gran 1952) e posterior uso do programa ALCAGRAN (Carmouze 1994). A saturação de CO₂ foi avaliada pelo método pH-alcalinidade, usando o modelo de associação iônica de Garrels & Thompson (1962) modificado por Carmouze (1984) e tendo por auxílio o programa CARBMAR1 (Carmouze 1994). O valor de %CO₂ diária foi obtido pela integração dos valores obtidos em todos os horários coletados.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados foram logaritmizados em base dez para se obter normalidade significativa (Kolmogorov - Smirnov) e matrizes amostrais com desvios-padrão com diferença não significativa entre si (teste de Bartlett). Como as matrizes amostrais passaram a apresentar essas premissas, foram utilizados testes estatísticos paramétricos (Zar 1996). Foi realizada a correlação de Pearson entre a %CO₂ e as concentrações de COD. Já a diferenciação entre meses foi

avaliada por ANOVA repetida (significativo $p < 0,05$) e pós-teste de Tukey-Kramer. Os testes foram considerados significantes quando $p < 0,05$.

RESULTADOS

Os meses do período chuvoso (Março/04, Abril/04, Agosto/04) apresentaram maiores valores de coloração e profundidade associados a menores valores de RFA em todas as estações de coleta em relação aos outros meses mais secos, com exceção a Outubro/04 (Figuras 2 e 3). Em geral, CAR 1 foi caracterizada pelos mais altos valores de RFA (Figura 3).

A %CO₂ diária apresentou correlação significativa com as concentrações de COD (r^2 em torno de 0,80) em todas as estações da lagoa Carapebus (Pearson; $p < 0,05$; Figura 4). A estação CAR 3 apresentou os valores mais pronunciados de %CO₂, cerca de 2,5 vezes superiores a CAR 2 e 4,5 vezes superiores a CAR 1 (Figura 4). A %CO₂ apresentou uma tendência de aumento significativo nos meses de Março/04, Abril/04 e Agosto/04, do período chuvoso em todas as estações de coleta (Tukey-Kramer; $p < 0,05$; Figura 4).

DISCUSSÃO

A comparação dos valores de profundidade, coloração, concentrações de COD e razão Secchi: Profundidade (RFA) entre os meses de coleta (escala temporal) evidenciou que os meses de maior pluviosidade foram associados tanto a um aumento nas concentrações de substratos orgânicos pigmentados, quanto a uma redução da RFA na coluna d' água. Períodos chuvosos são frequentemente relacionados à maior lixiviação de COD terrestre que reduz a disponibilidade de RFA nos ambientes aquáticos pela maior presença de compostos de coloração escura (Ram *et al.* 2003). Além disso, a alta correlação significativa entre as concentrações de COD e a %CO₂ diária nos meses do período chuvoso indicou uma possível relação positiva entre este incremento do aporte de compostos orgânicos e a intensificação da supersaturação de CO₂ em todas as estações de coleta. Essa relação positiva poderia ser causada tanto pelo aporte de substratos orgânicos pigmentados terrestres que sustentam a heterotrofia aquática líquida (Pace *et al.* 2004) quanto pela lixiviação CO₂ diretamente da bacia de drenagem nessa região geográfica (Suzuki *et al.* 1998).

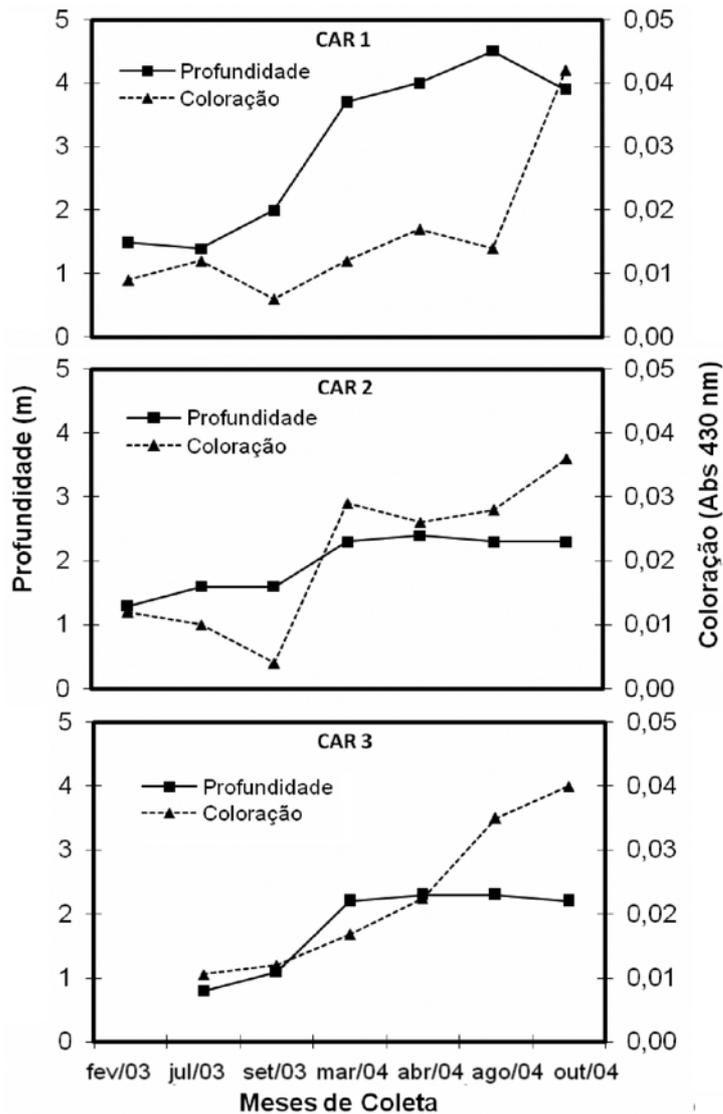


Figura 2. Variação de profundidade (m) e coloração (absorbância em 430 nm) entre os meses estudados nas três estações de coleta (CAR 1, CAR 2 and CAR 3).

Figure 2. Changes in depth (m) and coloration (absorbance at 430 nm) among studied months in the three sampling stations (CAR 1, CAR 2 and CAR 3).

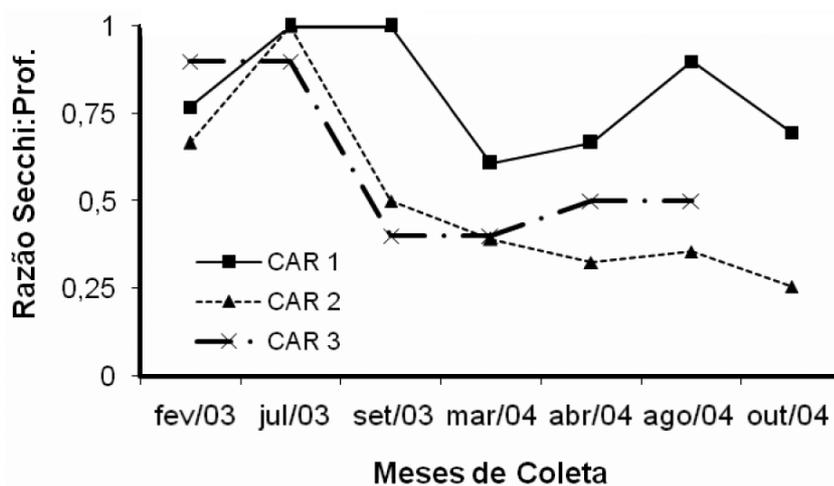


Figura 3. Variação da razão Secchi:Profundidade entre os meses estudados nas três estações de coleta (CAR 1, CAR 2 and CAR 3).

Figure 3. Changes in Secchi:Depth ratio among studied months at the three sampling stations.

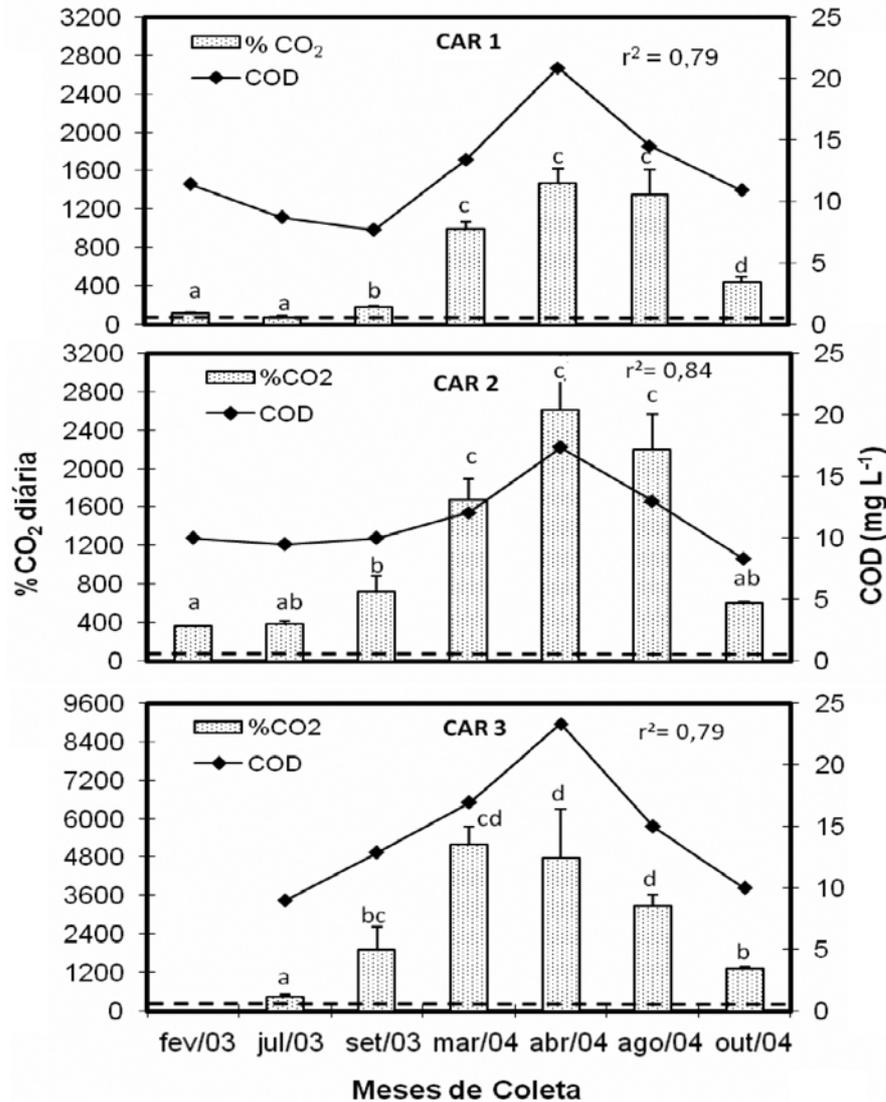


Figura 4. Variação da saturação de CO₂ diária (%CO₂) e das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD mg L⁻¹) entre os meses estudados em cada estação de coleta (CAR 1, CAR 2 and CAR 3). A correlação de Pearson entre estas variáveis foi representada pelo r² (significativo p<0,05). As barras de erro indicam o erro padrão e a linha tracejada o valor da %CO₂ em equilíbrio com a atmosfera (100%). Letras iguais representam uma diferença não significativa entre diferentes meses (Tukey-Kramer, p>0,05). Observe que a amplitude de escala da %CO₂ de CAR 3 é três vezes maior que as de CAR 1 e CAR 2.

Figure 4. Changes in daily CO₂ saturation (%CO₂) and dissolved organic carbon concentrations (DOC mg L⁻¹) among the studied months at each sampling station (CAR 1, CAR 2 and CAR 3). Pearson correlation between these variables were represented by r² (significant p<0.05). Error bars indicate the standard error and the dashed line represents the %CO₂ value in equilibrium with the atmosphere (100%). An equal letter indicates no significant difference among sampling stations (Tukey-Kramer, p>0.05). Note that scale range of CAR 3 is three times higher than ones of CAR 1 and CAR 2.

Já a comparação entre estações de coleta na lagoa Carapebus (escala espacial) sugeriu que os maiores valores de %CO₂ diária, detectados na estação mais próxima à margem (CAR 3), poderiam ser atribuídos às macrófitas aquáticas emersas ou mesmo a maior proximidade com o ambiente terrestre. As macrófitas aquáticas emersas contribuem para intensificar a heterotrofia na coluna d'água devido ao acúmulo de sua biomassa morta (Kuehn & Suberkropp 1998), pois a apreensão de CO₂ pela

atividade fotossintética é realizada diretamente entre essa forma de vida e a atmosfera (Sculthorpe 1967). Já a proximidade com a margem terrestre também poderia ter contribuído para incrementar os valores de %CO₂ em CAR 3 pela maior influência do aporte de carbono orgânico e inorgânico alóctone (Cole & Caraco 2001).

Por outro lado, o único valor de subsaturação de CO₂ detectado no presente estudo foi em CAR 1 no período mais seco. Este resultado pode ser rela-

cionado à atividade de macrófitas submersas nessa estação com maior influência marinha, cuja coluna d'água apresentou maior disponibilidade de RFA (maiores valores da razão $D_{Sec} : D_{Max}$) do que as outras estações de coleta. Portanto, o estabelecimento das macrófitas submersas foi mais favorecido em CAR 1 do que nas estações de coleta CAR 2 (sem macrófitas) e CAR 3 (colonizada por macrófitas emersas junto a margem terrestre). Os estandes de macrófitas submersas podem até gerar severa depleção de CO_2 (Krause-Jensen & Sand-Jensen 1998). Por conseguinte, as plantas submersas poderiam ter contribuído para reduzir as concentrações de CO_2 na água via fotossíntese em CAR 1, especialmente na condição de maior disponibilidade de RFA no período seco (água de menor coloração). A substituição da subsaturação por supersaturação de CO_2 em CAR 1, resultante da diminuição de RFA pelo maior aporte de substratos orgânicos terrestres no período chuvoso, também foi detectado em outra lagoa costeira tropical (Carmouze *et al.* 1991) e em um estuário tropical de clima de monções (Ram *et al.* 2003).

Sendo assim, os resultados obtidos nas escalas espacial (entre estações de coleta) e temporal (entre os períodos mais seco e chuvoso) evidenciaram que a saturação de CO_2 na lagoa estudada foi negativamente relacionada à maior influência marinha, inferida pelos menores valores de coloração e concentrações de COD na água (menor contribuição terrestre) nos meses mais secos e na estação mais próxima do mar. Este resultado confirmou conclusões similares obtidas na região entre o rio Amazonas (com maior influência terrestre) e o mar aberto (Ternon *et al.* 2000). A relação positiva entre COD e supersaturação de CO_2 também corroborou com importantes estudos que destacaram o papel da influência terrestre sobre este gás nas escalas de lago inteiro temperado (Carpenter *et al.* 1998), comparação espacial entre lagos temperados (Prairie *et al.* 2002) e temporal em rios tropicais (Richey *et al.* 2002).

Como conclusão, a substituição da subsaturação em supersaturação de CO_2 na estação com estandes de macrófitas submersas evidenciou que o carbono fixado pelos organismos autotróficos subaquáticos poderia apresentar tempo de residência em biomassa reduzido. Além disso, foi confirmada a hipótese de que o aumento nas concentrações de COD durante

o período chuvoso pode estar positivamente relacionado com a supersaturação de CO_2 , tanto nas áreas marginais colonizadas por macrófitas aquáticas emersas, quanto em áreas centrais colonizadas ou não por grandes estandes de macrófitas submersas na lagoa estudada. Os resultados obtidos na lagoa Carapebus sugeriram que lagos brasileiros podem apresentar substanciais incrementos na supersaturação de CO_2 em épocas chuvosas, possivelmente sustentados pela intensificação do aporte de compostos orgânicos e inorgânicos de origem terrestre.

REFERÊNCIAS

- BARBIÈRE, E. & COE NETO, R. 1999. Spatial and Temporal Variation of Rainfall of the East Fluminense Coast and Atlantic Serra Do Mar, State of Rio De Janeiro, Brazil. Pp 47-56. In: B. B. E. D. Knoppers, & J. J. Abraão (eds.), *Environment Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*. CEUF, Niterói. 210p.
- CARMOUZE, J.P. 1984. Généralization d'une méthode de détermination du carbone, mineral total par pH-metrie dans les eaux; son application à l'étude du metabolisme aerobie et anaerobie d'une lagune tropicale, *Hidrobiolog. Prop.* 17: 175-189.
- 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*. São Paulo: Editora Edgard Blücher / FAPESP. 255p.
- CARPENTER, S.R.; COLE, J.J.; KITCHELL, J.F. & PACE, M.L. 1998. Impact of Dissolved Organic Carbon, Phosphorus, and Grazing on Phytoplankton Biomass and Production in Experimental Lakes. *Limnology and Oceanography*, 43: 73-80.
- COLE, J.J.; CARACO, N.F.; KLING, G.W. & KRATZ, T.K. 1994. Carbon-Dioxide Supersaturation in the Surface Waters of Lakes. *Science*, 265: 1568-1570.
- COLE, J.J. & CARACO, N.F. 2001. Carbon in Catchments: Connecting Terrestrial Carbon Losses with Aquatic Metabolism. *Marine and Freshwater Research*, 52: 101-110.
- COLE, J.J.; PRAIRIE, Y.T.; CARACO, N.F.; MCDOWELL, W.H.; TRANVIK, L.J.; STRIEGL, R.G.; DUARTE, C.M.; KORTTELAINEN, P.; DOWNING, J.A.; MIDDELBURG, J.J. & MELACK, J. 2007. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems*, 10: 171-184.

- CPRM. 2000. Unidades Morfoesculturais e Geomorfológicas de Macaé. CPRM, Rio de Janeiro.
- DOWNING, J.A.; PRAIRIE, Y.T.; COLE, J.J.; DUARTE, C.M.; TRANVIK, L.J.; STRIEGL, R.G.; MCDOWELL, W.H.; KORTELAINEN, P.; CARACO, N.F.; MELACK, J.M. & MIDDELBURG, J.J. 2006. The Global Abundance and Size Distribution of Lakes, Ponds, and Impoundments. *Limnology and Oceanography*, 51: 2388-2397.
- FARJALLA, V.F.; FARIA, B.M. & ESTEVES, F.A. 2002. The Relationship between Doc and Planktonic Bacteria in Tropical Coastal Lagoons. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 156: 97-119.
- GARRELS, R.M. & THOMPSON, M.E. 1962. A chemical model for seawater at 25 °C and one atmosphere total pressure. *American Journal Science*, 260: 57-66.
- GRAN, G. 1952. Determination of the equivalence point in potentiometric titrations: Part II. *Analyst*, 77: 661-670.
- HAVENS, K.; PHILIPS, E.J.; CICHRA, M.F. & LI, B.L. 1998. Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake. *Freshwater Biology* 39: 547-556.
- INMET. 1992. *Relatório Anual do Instituto Nacional de Meteorologia - 1991*. INMET, Rio de Janeiro.
- JONSSON, A.; KARLSSON, J. & JANSSON, M. 2003. Sources of Carbon Dioxide Supersaturation in Clearwater and Humic Lakes in Northern Sweden. *Ecosystems*, 6: 224-235.
- KRAUSE-JENSEN, D. & SAND-JENSEN, K. 1998. Light Attenuation and Photosynthesis of Aquatic Plant Communities. *Limnology and Oceanography*, 43: 396-407.
- KUEHN, K.A. & SUBERKROPP, K. 1998. Diel Fluctuations in Rates of Co₂ Evolution from Standing Dead Leaf Litter of the Emergent Macrophyte *Juncus Effusus*. *Aquatic Microbial Ecology*, 14:171-182.
- JONSSON, A.; KARLSSON, J. & JANSSON, M. 2003. Sources of Carbon Dioxide Supersaturation in Clearwater and Humic Lakes in Northern Sweden. *Ecosystems*, 6: 204-235.
- LENNON, J.T. 2004. Experimental Evidence That Terrestrial Carbon Subsidies Increase Co₂ Flux from Lake Ecosystems. *Oecologia*, 138: 584-591.
- MOORE, K.A. & WETZEL, R.L. 2000. Seasonal Variations in Eelgrass (*Zostera Marina* L.) Responses to Nutrient Enrichment and Reduced Light Availability in Experimental Ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 244: 1-28.
- NEUE, H.U.; GAUNT, J.L.; WANG, Z.P.; BECKERHEIDMANN, P. & QUIJANO, C. 1997. Carbon in Tropical Wetlands. *Geoderma*, 79: 163-185.
- PACE, M.L.; COLE, J.J.; CARPENTER, S.R.; KITCHELL, J.F.; HODGSON, J.R.; VAN DE BOGERT, M.C.; BADE, D.L.; KRITZBERG, E.S. & BASTVIKEN, D. 2004. Whole-Lake Carbon-13 Additions Reveal Terrestrial Support of Aquatic Food Webs. *Nature*, 427: 240-243.
- PRAIRIE, Y.T.; BIRD, D.F. & COLE, J.J. 2002. The Summer Metabolic Balance in the Epilimnion of Southeastern Quebec Lakes. *Limnology and Oceanography*, 47: 316-321.
- RAM, A.S.P.; NAIR, S. & CHANDRAMOHAN, D. 2003. Seasonal Shift in Net Ecosystem Production in a Tropical Estuary. *Limnology and Oceanography*, 48: 1601-1607.
- 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.
- ROONEY, N.; KALFF, J. & HABEL, C. 2003. The Role of Submerged Macrophyte Beds in Phosphorus and Sediment Accumulation in Lake Memphremagog, Quebec, Canada. *Limnology and Oceanography*, 48: 1927-1937.
- SALAS, H.J. & MARTINO, P. 1991. A Simplified Phosphorus Trophic State Model for Warm-Water Tropical Lakes. *Water Research*, 25: 341-350.
- SCULTHORPE, C.D. 1967. *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. Koeltz Scientific Books, Königstein.
- SOBEK, S.; TRANVIK, L.J. & COLE, J.J. 2005. Temperature Independence of Carbon Dioxide Supersaturation in Global Lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 19: 1-10.
- SUZUKI, M.S., OVALLE, A.R.C., PEREIRA, E.A., 1998. Effects of sand bar openings on some limnological variables in a hypertrophic tropical coastal lagoon of Brazil. *Hydrobiologia*, 368:111-122.
- TERNON, J.F.; OUDOT, C.; DESSIER, A. & DIVERRES, D. 2000. A Seasonal Tropical Sink for Atmospheric Co₂ in the Atlantic Ocean: The Role of the Amazon River Discharge. *Marine Chemistry*, 68: 183-201.
- WETZEL, R.G. 1990. Land-Water Interfaces: Metabolic and Limnological Regulators. *Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 24: 6-24.
- WETZEL, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press, California.
- WILLIAMSON, C.E.; MORRIS, D.P.; PACE, M. & OLSON, O.G. 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography*, 44: 795-803.
- ZAR, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Londres.120p

Submetido em 02/06/2008.

Aceito em 30/07/2008.