

# Modelo condutométrico para determinação da concentração de dióxido de carbono dissolvido no Reservatório Vossoroca, Brasil

*Conductometric model for the determination of dissolved carbon dioxide concentration in Vossoroca Reservoir, Brazil*

Emerson Hochsteiner de Vasconcelos Segundo<sup>1</sup>, Sandro José Froehner<sup>2</sup>

## RESUMO

Um modelo condutométrico foi desenvolvido como uma técnica menos dispendiosa para determinar a concentração de dióxido de carbono dissolvido em reservatórios e foi aplicado no Reservatório Vossoroca, Brasil. A parte principal do Reservatório Vossoroca está localizada na Área de Proteção Ambiental de Guaratuba e foi construída para regular os fluxos de uma usina hidrelétrica, considerada uma forma limpa e renovável de exploração; no entanto, há evidências de que reservatórios de hidrelétricas poderiam ser potenciais emissores de gases de efeito estufa. O modelo utiliza como parâmetros a condutividade elétrica, a temperatura e o pH da água do reservatório. Foi possível observar nos resultados as estratificações térmica e química que ocorrem no reservatório por meio dos parâmetros temperatura (18° a 25°C), pH (5,9 a 8,4), oxigênio dissolvido (com o limite superior de 8 mg.L<sup>-1</sup>) e condutividade elétrica (0,04 a 0,2 mS.cm<sup>-1</sup>). Os resultados das campanhas apresentaram bons coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), acima de 0,9, para todas as campanhas para a determinação da concentração de dióxido de carbono dissolvido obtido por titulação alcalimétrica, também feita no local do estudo, e pelo modelo condutométrico (com o limite superior de cerca 250 mg.L<sup>-1</sup>), mas em profundidades próximas ao leito do reservatório foram encontradas diferenças. O teste de significância estatística (Student) não apresentou diferença significativa entre os valores obtidos por titulação alcalimétrica e pelo modelo condutométrico.

**Palavras-chave:** modelo condutométrico; dióxido de carbono dissolvido; Reservatório Vossoroca.

## ABSTRACT

A conductometric model was developed as a less costly technique to determine the dissolved carbon dioxide concentration in reservoirs and was applied in Vossoroca Reservoir, Brazil. A main portion of Vossoroca Reservoir is located in the Environmental Protection Area of Guaratuba and was built for regulate flows to a hydroelectric power plant, considered a clean and renewable form of exploitation; however, there is evidence that hydroelectric reservoirs could be potential emitters of greenhouse gases. The model uses parameters as electrical conductivity, temperature and pH of the water reservoir. It was possible to observe in the results the thermal and chemical stratification that occurs in the reservoir through the parameters temperature (18° to 25°C), pH (5.9 to 8.4), dissolved oxygen (with upper limit of 8 mg.L<sup>-1</sup>) and electrical conductivity (0.04 to 0.2 mS.cm<sup>-1</sup>). The campaign results showed good determination coefficients (R<sup>2</sup>), above 0.9, for all campaigns for the determination of dissolved carbon dioxide concentration obtained by alkalimetric titration, also made on the study site, and by the conductometric model (with upper limit of approximately 250 mg.L<sup>-1</sup>), but at depths close to the bed of the reservoir discrepancies were found. The statistical significance test (Student) did not show significant difference between the values obtained by alkalimetric titration and by the conductometric model.

**Keywords:** conductometric model; dissolved carbon dioxide; Vossoroca Reservoir.

## INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica, em constante aumento, obrigou os governos a aumentarem a sua capacidade de produção e oferta. Em países cuja matriz energética tem como base a geração hidrolétrica, o

número de reservatórios tem aumentado cada vez mais, assim como o tamanho deles (GUIMARÃES JR., 1998). A produção de energia elétrica constitui aspecto fundamental para o modo de vida contemporâneo, sendo fator de significativa preocupação no que diz respeito ao

<sup>1</sup>Mestre. Associação Paranaense de Cultura - Curitiba (PR), Brasil.

<sup>2</sup>Doutor. Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Curitiba (PR), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Emerson Hochsteiner de Vasconcelos Segundo - Rua Imaculada Conceição, 1155 - 80215-901 - Curitiba (PR), Brasil - E-mail: e.hochsteiner@gmail.com

**Recebido:** 10/07/13 - **Aceito:** 06/01/16 - **Reg. ABES:** 120490

abastecimento de centros urbanos. A hidroeletricidade é considerada uma forma de exploração limpa e renovável. Todavia, existem evidências de que reservatórios de usinas hidrelétricas poderiam ser potenciais emissores de gases de efeito estufa (GEE) (RUDD *et al.*, 1993).

O estudo de reservatórios confere especial atenção ao monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos pela amplitude de suas variações, dentre os quais se podem citar o comportamento térmico da coluna de água, os padrões de sedimentação e circulação de massas de água, a dinâmica dos gases, a ciclagem de nutrientes e a estrutura das comunidades aquáticas (AGOSTINHO *et al.*, 1992; TUNDISI *et al.*, 1993). De acordo com Esteves (1998), medidas de condutividade elétrica constituem-se em uma das ferramentas mais poderosas em estudos limnológicos, pois possibilita a inferência sobre dinâmicas físico-químicas e biológicas em lagos e reservatórios. Segundo Freire e Santanella (2001), por ser um parâmetro de fácil obtenção e de determinação relativamente barata, além de estar relacionada à força iônica de um determinado corpo de água, especialmente quando os íons majoritários apresentam natureza conservativa e, portanto, correlação linear com essa variável física, pode-se inferir sobre os processos de mistura que ocorrem no interior de reservatórios.

Sendo a condutividade elétrica dependente da concentração iônica do meio, torna-se evidente que quanto maior for o conteúdo de íons presentes no meio maior será o valor da condutividade, observando-se que a redução nos valores da condutividade elétrica estaria relacionada com os processos de produção primária, próxima à superfície, enquanto um aumento destes estaria ligado com as condições de decomposição (ESTEVES, 1998). Zuccari (1991) obteve uma correlação inversa significativa entre os valores de condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Isso se deve ao fato de que o teor de oxigênio dissolvido diminui por estar sendo utilizado na oxidação da matéria orgânica, resultando, portanto, em um aumento da concentração de íons, com conseqüente aumento da condutividade elétrica. Júlio *et al.* (1997) fazem considerações sobre as implicações da incorporação de matéria orgânica na qualidade física e química da água de reservatórios, fato que contribuiria para a redução na concentração de oxigênio dissolvido e propiciaria a geração de gases, como gás sulfídrico e metano, e o aumento na concentração de dióxido de carbono dissolvido e na condutividade elétrica. Pode-se observar que o aumento da condutividade elétrica acompanha a geração de gases de efeito estufa em razão da decomposição da matéria orgânica.

Em razão da degradação da matéria orgânica e do grande volume de água contido em reservatórios, a geração de gases como o dióxido de carbono, principal gás de efeito estufa, se tornou foco de preocupação. Um trabalho experimental para medir fluxos de emissão de gases de efeito estufa de reservatórios foi descrito por Sellers *et al.* (1995) no qual a concentração de dióxido de carbono dissolvido foi considerada o principal parâmetro para a determinação dos fluxos. Seguindo uma

tendência mundial, a determinação de fluxos de emissão de gases de efeito estufa utiliza as câmaras de difusão, captura de bolhas emanescen-tes e método da camada limite (STRIEGL & MICHMERHVIZEN, 1988; FEARNSTIDE, 1992; GALY LACAUX *et al.*, 1997; ALVALA *et al.*, 1998; UTSUMI *et al.*, 1998; DUCHEMIN *et al.*, 1999; CASPER *et al.*, 2000). Todas as técnicas citadas não determinam a concentração *in loco*, mas sim em laboratório, onde utilizam metodologias fundamentadas na cromatografia gasosa, ressaltando a importância do desenvolvimento de novas alternativas de determinação de dióxido de carbono e outras espécies químicas.

Seguindo essa necessidade, pode-se citar Gray (2005), que ressalta a capacidade de determinação da concentração de dióxido de carbono através do uso da condutividade, já que esta apresenta caráter linear com a concentração de compostos. Light *et al.* (1995) apresentaram um método para a determinação da concentração de dióxido de carbono dissolvido usando apenas a condutividade elétrica das amostras. O método apresenta viabilidade mesmo na determinação da concentração de traços de dióxido de carbono menores que 0,05 ppm, porém deve ser considerada a influência da temperatura nas condutividades molares. De acordo com Branchu e Bergonzini (2004), as contribuições iônicas da soma das concentrações de bicarbonato e carbonato são em média 66% do valor total da condutividade elétrica obtida em reservatórios.

Dessa forma, o presente trabalho investiga o comportamento de parâmetros físicos e químicos, e a aplicação de uma técnica de determinação menos onerosa para a determinação de dióxido de carbono dissolvido em reservatórios através de valores de condutividade elétrica, pH, utilizado para a determinação das concentrações molares de  $H^+$  e  $OH^-$ , e temperatura da água, utilizada para a determinação das condutividades molares dos íons que compõem o modelo condutométrico e da constante  $K_w$ .

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O Reservatório Vossoroca está localizado ao sul de São José dos Pinhais, cidade a cerca de 80 km de Curitiba, capital do estado do Paraná. A Figura 1 apresenta a localização geográfica do local de estudo.

A parte principal do reservatório está dentro da Área de Proteção Ambiental de Guaratuba. A barragem foi construída na década de 1940, e seu reservatório ocupa uma área de 330 ha com o objetivo principal de regulação dos fluxos de uma usina hidrelétrica localizada a jusante. A área em torno do reservatório é predominantemente caracterizada por áreas rurais para fins de recreação. A parte a montante do reservatório é fortemente influenciada por características pedológicas pela exploração agrícola. A altitude local é de 850 m acima do nível médio do

mar, e o clima da região é classificado como subtropical úmido, com verões quentes e invernos com geadas.

### Coleta de amostras e campanhas

A coleta das amostras foi realizada com o auxílio de uma garrafa de van Dorn a cada metro de profundidade no ponto de profundidade máxima do reservatório, localizado na coordenada geográfica 25°49.486'S, 49°4.014'W, para a realização da titulação alcalimétrica *on site*. Foram realizadas quatro campanhas consecutivas às 16 e às 22 horas em 25 de janeiro e às 3 e às 10 horas em 26 de janeiro de 2013.

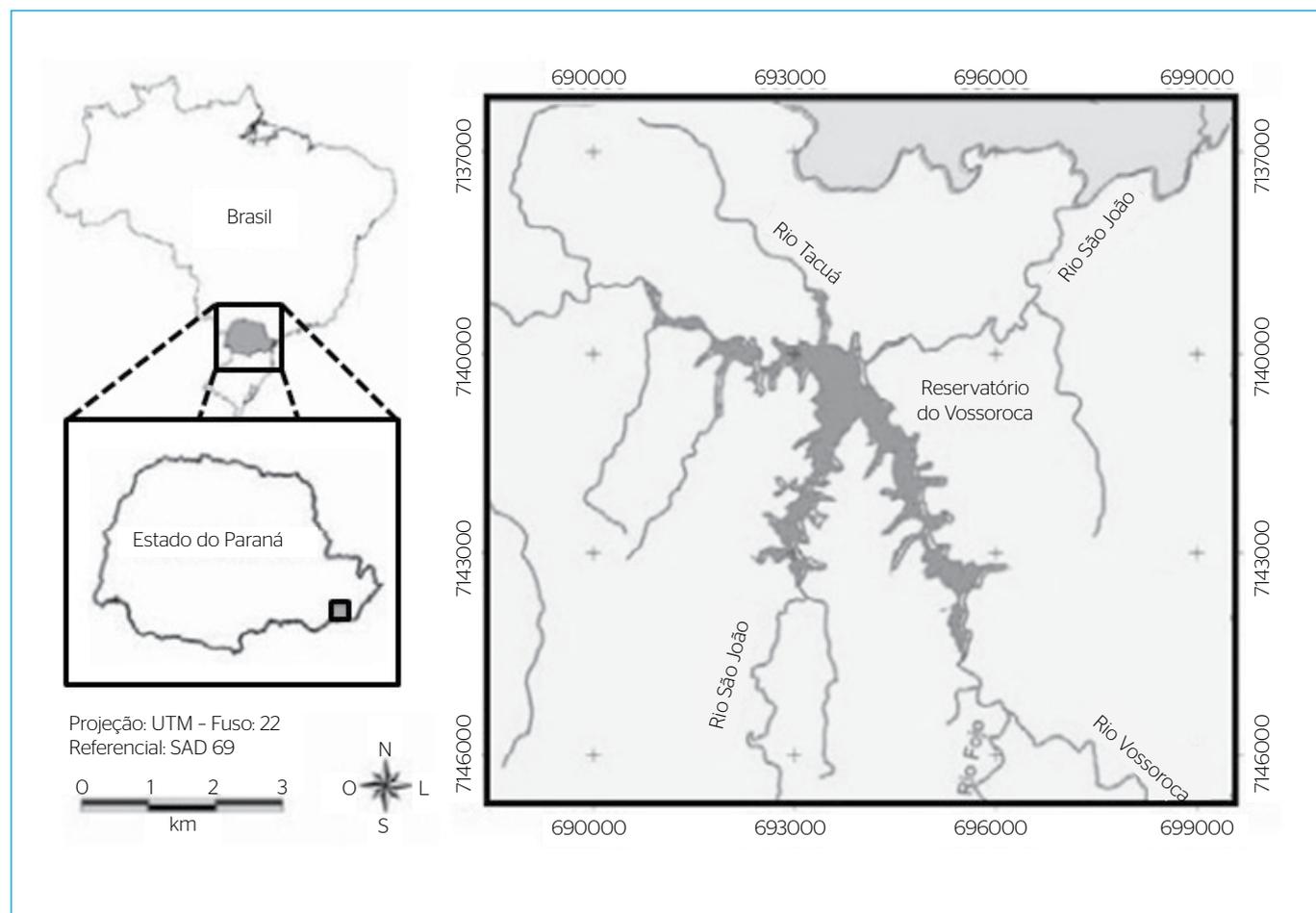
### Alcalinidade total

A alcalinidade total foi determinada seguindo metodologia descrita no *Standard Methods* (ALPHA, 1998). Basicamente, o método consiste em duas titulações com ácido sulfúrico 0,02 N, sendo os pontos finais determinados visualmente pela mudança de coloração de dois indicadores. A primeira titulação consiste na quantificação do íon carbonato em pH 8,3 com indicador fenolftaleína (mudança de coloração rósea para incolor). A segunda titulação corresponde à quantificação do íon

bicarbonato, sendo o pH final 4,3, com indicador alaranjado de metila (mudança de coloração amarelada para alaranjada).

### Condutividade elétrica, pH, temperatura e oxigênio dissolvido

Os valores da condutividade elétrica, pH, temperatura e oxigênio dissolvido foram determinados com o auxílio de uma sonda multiparamétrica Horiba U-50 a cada metro de profundidade, sendo a sonda imersa até a profundidade desejada. As especificações da sonda multiparamétrica para os parâmetros avaliados são: condutividade (detecção pelo método do eletrodo 4 AC, faixa de 0 a 100 mS.cm<sup>-1</sup>, resolução de 0,001 mS.cm<sup>-1</sup> para faixa de 0 a 0,999 mS.cm<sup>-1</sup> e de 0,01 mS.cm<sup>-1</sup> para a faixa de 1 a 9,99 mS.cm<sup>-1</sup> e precisão de ± 1 %), pH (detecção pelo método do eletrodo de vidro, faixa de pH de 0 a 14, resolução de 0,01 e precisão de ± 0,1), temperatura (detecção pelo método do termistor, faixa de -10 a 55°C, resolução de 0,01°C e precisão de ± 0,3 + 0,005.°C<sup>-1</sup>) e oxigênio dissolvido (detecção pelo método polarográfico, faixa de oxigênio dissolvido de 0 a 50 mg.L<sup>-1</sup>, resolução de 0,01 mg.L<sup>-1</sup> e precisão de ± 0,2 mg.L<sup>-1</sup> para a faixa de 0 a 20 mg.L<sup>-1</sup> e de ± 0,5 mg.L<sup>-1</sup> para a faixa



**Figura 1** - Localização geográfica do local de estudo com os principais corpos hídricos.

de 20 a 50 mg.L<sup>-1</sup>). Antes de cada campanha era realizada a calibração da sonda seguindo-se as orientações do fabricante.

### Modelo condutométrico

Seguindo-se o exemplo de Light *et al.* (1995), a condutividade pode ser teoricamente determinada aplicando-se o modelo linear apresentado pela Equação 1.

$$K = 10^{-3} \sum_i^n \Lambda_i C_i \tag{1}$$

Em que C<sub>i</sub> é a concentração do íon *i* e Λ<sub>i</sub> é a condutividade molar, em S.cm<sup>2</sup>.mol<sup>-1</sup>, do íon *i*. Aplicando-se as considerações acerca dos íons que contribuem de forma significativa no valor da condutividade elétrica, considerando-se que o principal processo gerador de íons são as transformações químicas das espécies carbonáceas inorgânicas que compõem o sistema carbonato, obtém-se a Equação 2.

$$K = 10^{-3} \left( \Lambda_{H_3O^+} [H_3O^+] + \Lambda_{OH^-} [OH^-] + \Lambda_{HCO_3^-} [HCO_3^-] + \Lambda_{CO_3^{2-}} [CO_3^{2-}] \right) \tag{2}$$

Segundo Esteves (1998), os valores do pH em reservatórios situam-se na faixa entre 6 e 8. Considerando o sistema carbonato, apresentado em Snoeyink e Jenkins (1980), é possível inferir que a contribuição do bicarbonato no valor da condutividade elétrica é muito pequena ao ponto de ser negligenciada; considerando as relações tradicionais para a concentração dos íons [H<sup>+</sup>] e [OH<sup>-</sup>], pode-se resultar na Equação 3.

$$K = 10^{-3} \left( \Lambda_{H_3O^+} [10^{-pH}] + \Lambda_{OH^-} \left[ \frac{K_w}{[H_3O^+]} \right] + \Lambda_{HCO_3^-} [HCO_3^-] \right) \tag{3}$$

Isolando o íon carbonato e considerando a primeira dissociação do ácido carbônico em razão da hidrólise, e a relação molar deste com o dióxido de carbono, pode-se encontrar a Equação 4, que resulta na concentração molar de dióxido de carbono dissolvido.

$$[CO_2] = \frac{[10^{-pH}]}{K_{a1}} \left( \frac{K \cdot 10^3 - \Lambda_{H_3O^+} [10^{-pH}] - \Lambda_{OH^-} \left[ \frac{K_w}{[H_3O^+]} \right]}{\Lambda_{HCO_3^-}} \right) \tag{4}$$

Faz-se necessária ainda a consideração da influência da temperatura, apresentada em Light *et al.* (1995), nas condutividades molares e na constante Kw. Essa mesma influência é apresentada por Esteves (1998), em que há uma variação de aproximadamente 2%.°C<sup>-1</sup> na condutividade molar de uma solução iônica.

### Teste de significância t de Student

A comparação dos resultados foi feita aplicando-se o teste *t* de Student. Para a aplicação desse teste estatístico, faz-se necessária a consideração de que ambas as técnicas apresentam distribuição gaussiana, ou distribuição normal, em relação à sua repetibilidade e determinação de valor verdadeiro (MOTTA & WAGNER, 2003). É importante ressaltar que esse teste considera a variância dos dados quando feito em conjuntos emparelhados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Alcalinidade total

A alcalinidade total, que consiste na quantificação das formas inorgânicas do carbono, apresenta comportamentos semelhantes em todas as campanhas realizadas, sendo constatada uma elevação de seus valores em profundidades próximas ao leito do reservatório (Figura 2), comportamento diferente do obtido por Zuccari (1991) no Ribeirão Lavapés, onde a alcalinidade total se manteve praticamente homogênea em função da profundidade. Cabe ressaltar que, no estudo citado, o corpo de água era considerado altamente poluído, com alto índice de decomposição em todo o perfil vertical de profundidade, fato que pode ter impedido que altos valores de alcalinidade em profundidades elevadas fossem encontrados.

Os valores de alcalinidade situaram-se predominantemente entre 20 e 46 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, e em profundidades superiores a 8 m os valores encontrados situaram-se na faixa entre 30 e 46 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.

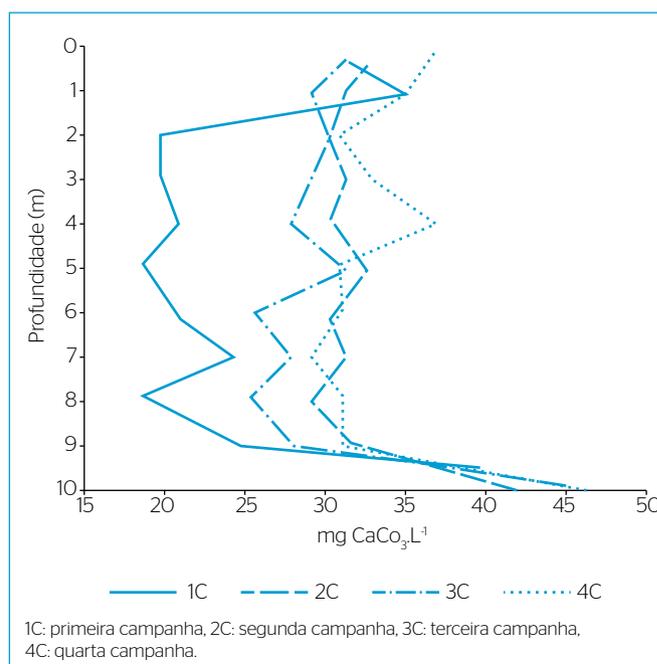


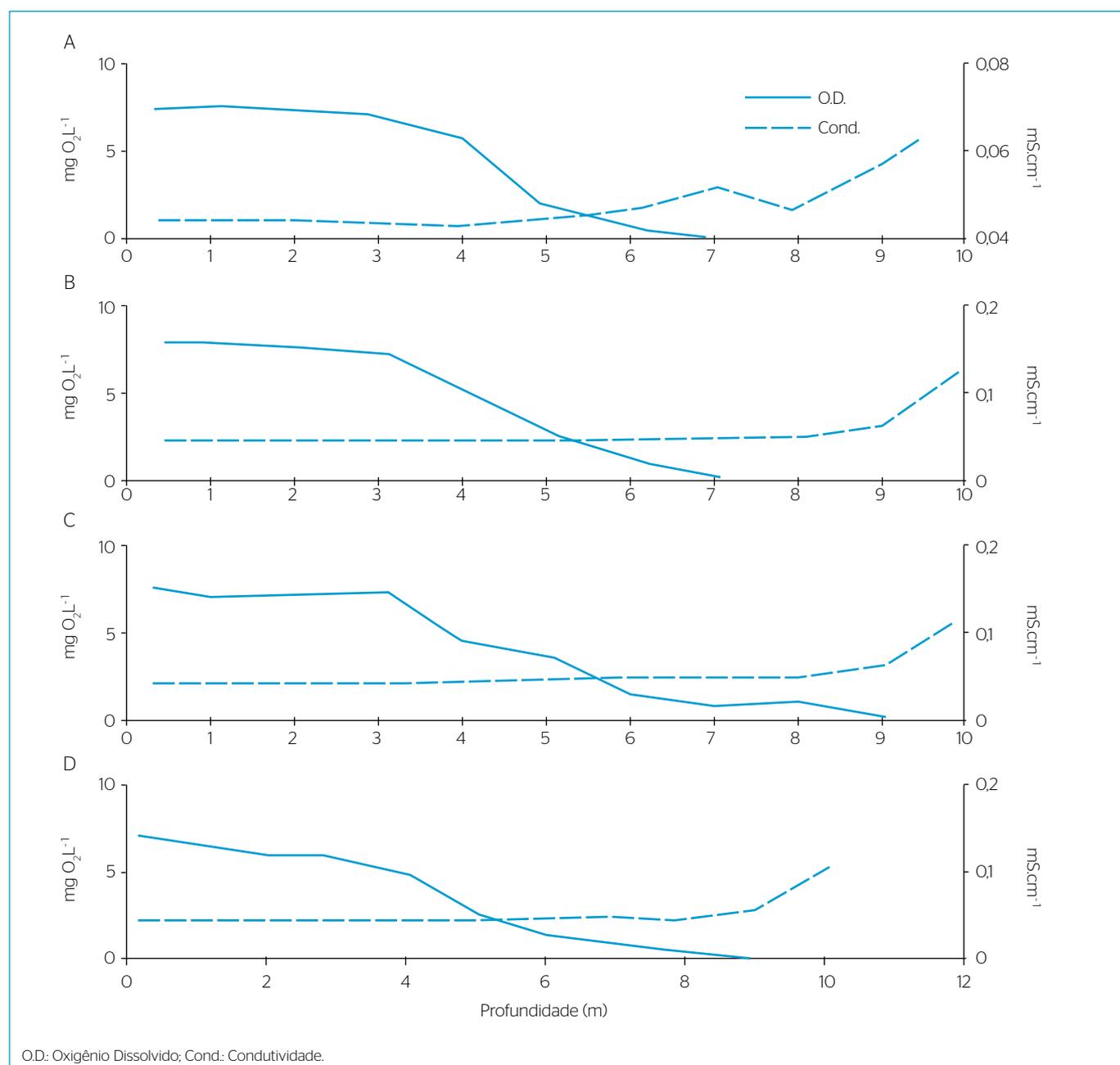
Figura 2 – Valores de alcalinidade total em função da profundidade.

Essa constatação pode ser atribuída à decomposição da matéria orgânica presente no leito do reservatório, fato que ocasionaria o aumento da concentração de íons bicarbonato e de dióxido de carbono dissolvido, ambas espécies carbonáceas inorgânicas.

### Condutividade elétrica e oxigênio dissolvido

O comportamento dos parâmetros condutividade e oxigênio dissolvido apresentou a mesma tendência em todas as campanhas realizadas, com acréscimo nos valores da condutividade e decréscimo nos valores de oxigênio dissolvido com o aumento da profundidade. Os valores da

concentração de oxigênio dissolvido situaram-se abaixo de 8,00 mg.L<sup>-1</sup> e os valores da condutividade elétrica, entre 0,04 e 0,20 mS.cm<sup>-1</sup> (Figura 3), sendo os valores encontrados para a condutividade elétrica próximos daqueles encontrados por Guimarães Jr. (1998), com valor médio de 0,104 mS.cm<sup>-1</sup> e valor máximo de 0,198 mS.cm<sup>-1</sup>; por Thomaz *et al.* (1997), com valores de condutividade elétrica superiores à 0,065 mS.cm<sup>-1</sup>; e por Moretto e Nogueira (2003), com valores médios de condutividade de 0,0112 mS.cm<sup>-1</sup> e 0,052 mS.cm<sup>-1</sup> para os reservatórios por eles estudados. Em relação ao oxigênio dissolvido e o decréscimo deste na massa líquida em função da profundidade, o mesmo resultado foi



**Figura 3** - Perfil de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica e função da profundidade do reservatório [(A) primeira campanha, (B) segunda campanha, (C) terceira campanha e (D) quarta campanha].

constatado por Silva *et al.* (2009), Thomaz *et al.* (1997) e Zuccari (1991), que encontraram correlações significativas inversas entre o oxigênio dissolvido e a condutividade elétrica.

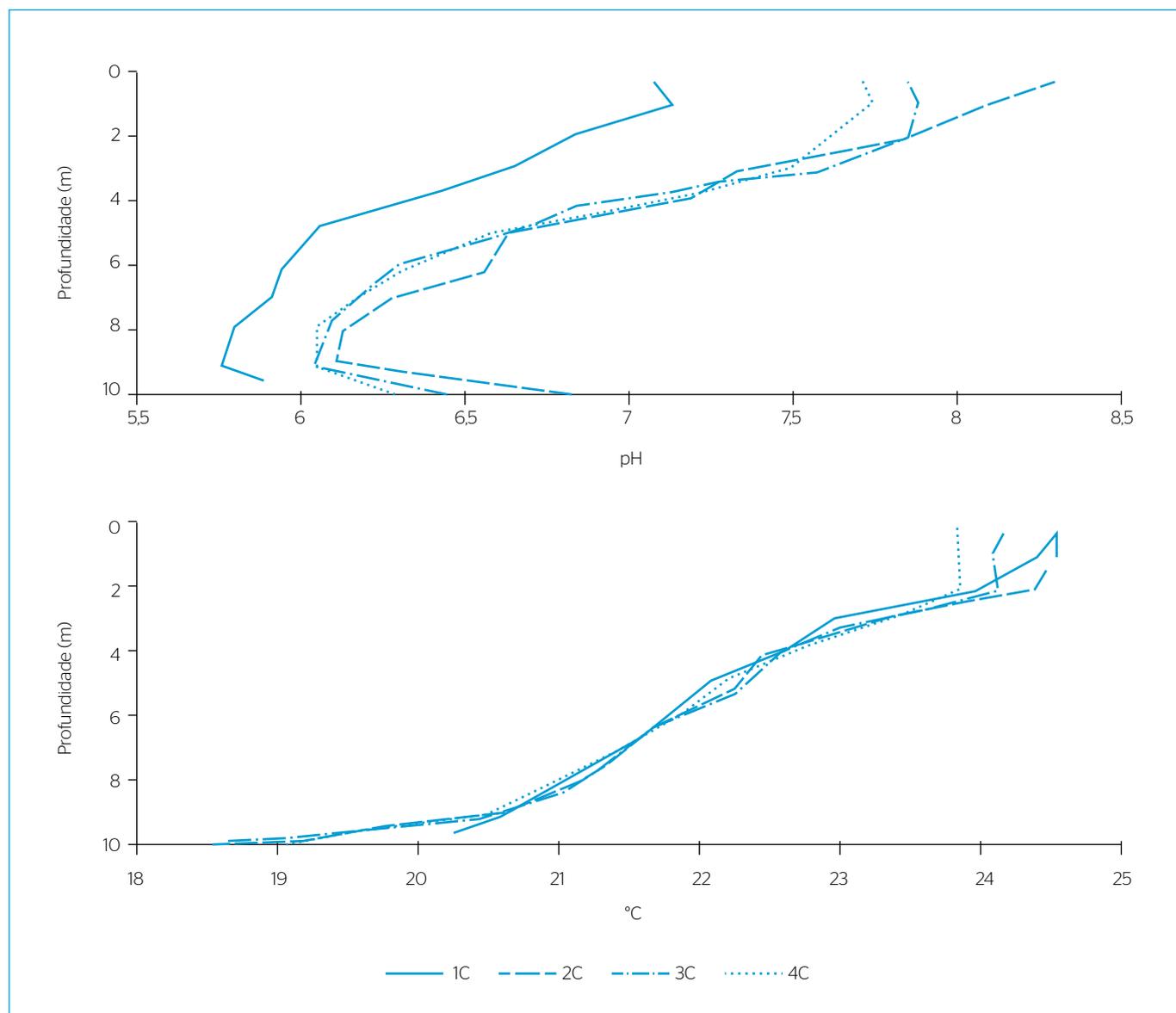
Segundo Thomaz *et al.* (1997) e Zuccari (1991), a elevação dos valores da condutividade elétrica com o decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido está relacionada às altas taxas de decomposição da matéria orgânica.

Pode-se observar ainda que o declínio da concentração de oxigênio dissolvido ocorre mais acentuadamente após 3 m de profundidade, enquanto a elevação nos valores da condutividade elétrica ocorrem com maior intensidade após 8 m de profundidade, reforçando a afirmação de que a decomposição da matéria orgânica libera íons para o meio, fato observado por Thomaz *et al.* (1999) e Zuccari (1991).

## Temperatura e pH

O perfil de vertical de pH (Figura 4) apresentou decaimento do valor desse parâmetro com o aumento da profundidade, o que indica uma maior concentração de espécies ácidas em relação à superfície. Entre essas espécies, pode-se citar o dióxido de carbono dissolvido gerado, liberado como subproduto pela decomposição da matéria orgânica presente no meio, mais especificamente ao fundo do reservatório. Os valores encontrados situaram-se na faixa entre 5,90 e 8,40, sendo muito próximos aos valores encontrados por Guimarães Jr. *et al.* (1998), com valores entre 5,60 e 7,65, e por Guimarães Jr. (1989), com valores entre 6,20 e 8,29.

O perfil vertical de temperatura (Figura 4) também apresentou decaimento com o aumento da profundidade com valores entre 18° e 25°C,



**Figura 4** - Perfis de pH e temperatura em função da profundidade (1C: primeira campanha, 2C: segunda campanha, 3C: terceira campanha e 4C: quarta campanha).

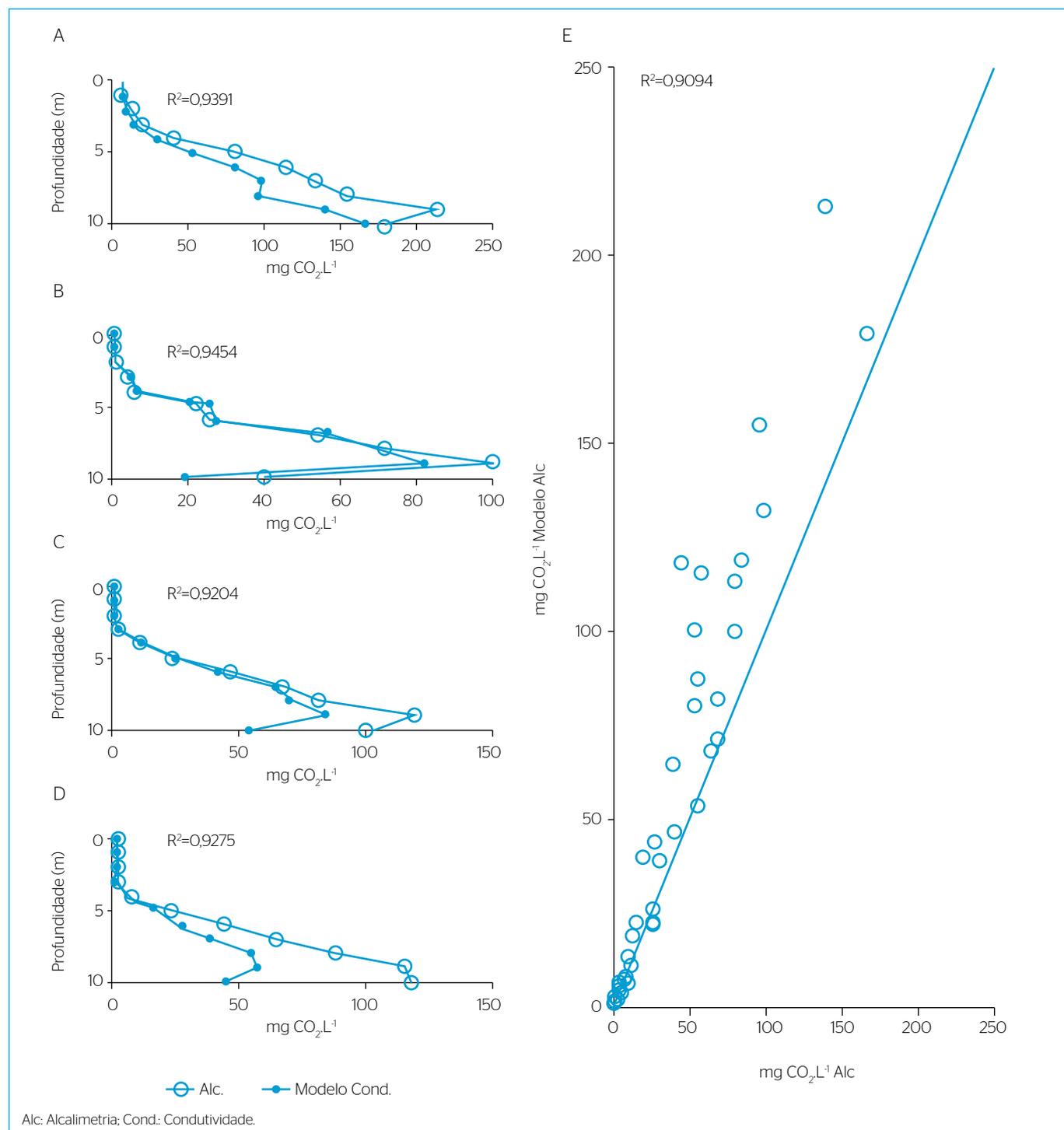
com estratificação térmica definida, variação maior que a encontrada por Guimarães Jr. *et al.* (1998), que em seu estudo encontrou variação máxima de 3°C sem uma estratificação definida.

Pode-se observar que na primeira campanha os valores de pH encontrados foram mais baixos do que aqueles encontrados nas campanhas posteriores, podendo este efeito ser vinculado ao fato de que

a produtividade primária estaria, com o aumento de sua biomassa, reduzindo o pH do meio.

### Modelo condutométrico

O modelo condutométrico foi aplicado, e os resultados são apresentados na Figura 5. Observa-se que os coeficientes de determinação para



**Figura 5** - Resultados da concentração de dióxido de carbono dissolvido e comparação com a titulação alcalimétrica, com respectivos coeficientes de determinação para avaliação da qualidade do modelo condutométrico [(A) primeira campanha, (B) segunda campanha, (C) terceira campanha, (D) quarta campanha e (E) dados totalizados].

as campanhas que foram realizadas durante o período noturno obtiveram valores superiores do que para as campanhas realizadas durante o período diurno. Isso pode ser atribuído ao fato de que durante o período noturno, pela redução da produtividade primária e pelo processo de respiração da biomassa presente na massa líquida, uma maior concentração de dióxido de carbono dissolvido é liberada para o meio (ESTEVES, 1998), aumentando sua contribuição efetiva nos valores de condutividade elétrica. Outro evento que pode estar contribuindo é a mistura da coluna de água durante o período noturno em função do equilíbrio da temperatura. O coeficiente global de determinação foi superior a 0,9, indicando boa qualidade do modelo desenvolvido apesar de não considerar a contribuição dos íons não atuantes no sistema carbonato, como íons sulfurados e azotados.

Os resultados mostram que o modelo condutométrico pode ser amplamente aplicável para profundidades menores que 7 m, apresentando discrepâncias para profundidades próximas ao leito do reservatório. Isso se deve ao fato de que para profundidades muito elevadas, ou próximas ao leito do reservatório, as condições de anaerobiose e a própria decomposição da matéria orgânica proporcionam a geração de íons de condutividade molar significativa (Tabela 1), que podem interferir na determinação.

Pode-se observar que os íons apresentados na Tabela 1 estão presentes em condições aeróbias e anaeróbias de decomposição da matéria orgânica (BAIRD, 2008; ESTEVES, 1998), e, pelas propriedades moleculares, apresentam grande condutividade molar e podem contribuir de forma significativa para o valor real da condutividade; logo, um estudo periódico desses íons pode atuar como agente de depuração e complementação do modelo proposto, assim como campanhas de amostragens de duração mais longa e que contemplem todas as estações do ano do que a realizada neste estudo.

### Teste de significância *t* de Student

O teste estatístico de significância *t* de Student para o modelo condutométrico mostrou bons resultados tanto em termos de aplicação

**Tabela 1 - Condutividade molar dos íons mais significativos em processos aeróbios e anaeróbios ocorrentes em ambientes limnológicos (LIDE, 2005).**

Íon	Condutividade molar $\Lambda$ (S.cm <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	73,50
1/3Fe <sup>3+</sup>	68,00
1/2Fe <sup>2+</sup>	54,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71,42
HS	65,00

individual para cada campanha como em relação à aplicação para os dados globais. Para a primeira campanha de teste *t* de Student, mostrou o valor de 0,5309; para a segunda campanha, apresentou um valor de 0,1412; para a terceira campanha, o valor de 0,3588; e, para a quarta campanha, mostrou o valor de 0,8299 para 95% de confiança. O valor do teste tabelado acusa 2,201, isto é, não existe diferença significativa entre a determinação de dióxido de carbono dissolvido pelas técnicas comparadas. A aplicação do teste para os dados globais acusou o valor de 1,1011 para 95% de confiança, quando o valor tabelado acusa 2,0021, estabelecendo a falta de uma diferença significativa entre as técnicas.

## CONCLUSÕES

O modelo da condutividade apresentou bons resultados, com coeficientes de determinação acima de 0,9 para as campanhas de forma individual e para o conjunto global dos dados; no entanto, é necessário estudar o efeito de outros íons de condutividade molar significativa para o aperfeiçoamento do modelo proposto. A análise de significância estatística não mostrou diferença significativa entre os valores obtidos com a titulação alcalimétrica e o modelo condutométrico. O modelo não só proporciona a determinação da concentração de dióxido de carbono dissolvido mas uma coleta de dados simultânea e sem a necessidade de extração da amostra, ou seja, a determinação é feita na massa líquida na profundidade desejada, facilitando operacional e economicamente o processo de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

Agostinho, A.A.; Júlio Jr., H.F.; Borghetti, J.R. (1992) Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictionfauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. *Revista UNIMAR*, Maringá, n. 14, p. 89-107.

ALPHA. (1998). *Standard Methods*.

ALVALÁ, P.C.; KIRCHHOFF, V.W.J.H.; PAVÃO, H.G. (1998) O Metano na Atmosfera - Produção de Metano em Regiões de Queimadas e Áreas Alagadas. *Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, v. 7, p. 40-43.

Baird, C. (2008) *Environmental chemistry*. 4 Ed. Bookman, 847 p.

Branchu, P. & Bergonzini, L. (2004) Chloride concentrations in Lake Tanganyika: an indicator of the hydrological budget? *Hydrology and Earth System Sciences*, n. 8, v. 2, p. 256-265.

Casper, P.; Maberly, S.C.; Hall, G.H.; Finlay, B.J. (2000) Fluxes of methane and carbon dioxide from a small productive lake to the atmosphere. *Biochemistry*, n. 49, p. 1-19.

- Duchemin, E.; Canuel, R.; Ferland, P.; Lucotte, M. (1999) *Étude sur la Production et l'Émission de Gaz à Effect de Serre par les Réservoirs Hydroélectriques de l'Entrepise et de Lacs Naturels (Vol. 2)*. Université du Quebec, Montreal, 47 p.
- Esteves, F.A. (1998) *Fundamentos de Limnologia*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 226p.
- Fearnside, P.M. (1992) *Carbon emissions and sequestration in forests: Case studies from seven developing countries (Vol. 2)*. Publicação EPA/LBL.
- Freire, R.H.F.; Santanella, S.T. (2001) Avaliação do processo de mistura no interior de reservatórios do semi-árido nordestino brasileiro através de medidas de condutividade elétrica. *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa/PB-Brasil, 8, 8 p.
- Galy Lacaux, C.; Delmas, R.; Jambert, C.; Dumestre, J.F.; Labroure, L.; Richard, S.e.; Gosse, P. (1997) Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles*, n. 11, v. 4, p. 471-483.
- Gray, D.M. (2005) pH and CO<sub>2</sub> Determinations Based on Power Plant Conductivity Measurements. *PowerPlant Chemistry*, n. 7, v. 4, p. 214-218.
- Guimarães Jr., C. (1989) *Caracterização limnológica preliminar do reservatório da UHE Mário Lopes Leão - Promissão, São Paulo*. São Paulo: CESP, Coleção (Ecossistemas aquáticos, v. 4).
- Guimarães Jr., C.; Leopoldo, P.R.; Cruz, J.A.; Fontana, S.C. (1998) Aspectos limnológicos do reservatório de Ibatinga-SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, n. 1, v. 3, p. 89-103.
- Júlio Jr., H.F.; Bonecker, C.C.; Agostinho, A.A. (1997) Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguaçu. In: AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. EDUEM, Maringá, 387 p.
- Lide, D.R. (2005) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Light, T.S.; Kingman, E.A.; Bevilacqua, A.C. (1995) The conductivity of low concentrations of CO<sub>2</sub> dissolved in ultrapure water from 0- 100 °C. *209th American Chemical Society National Meeting*, Anaheim, CA, April 2-6, 18 p.
- Motta, V.T. & Wagner, M.B. (2003) *Bioestatística*. São Paulo: Robe Editorial, 201 p.
- Moretto, E.M.; Nogueira, M.G. (2003) Physical and chemical characteristics of Lavapés and Capivara rivers, tributaries os Barra Bonita Reservoir (São Paulo - Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, n. 15, v. 1, p. 27-39.
- Rudd, J.W.M.; Harris, R.; Kelly, C.A.; Hecky, R.E. (1993) Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases? *Ambio*, v. 22, p. 246-248.
- Sellers, P.; Hesslein, R.H.; Kelly, C.A. (1995) Continuous Measurement of CO<sub>2</sub> for estimation of air-water fluxes in lakes: an *in situ* technique. *Limnology and Oceanography*, n. 40, v. 3, p. 577-581.
- Silva, A.P.S.; Dias, H.C.T.; Bastos, R.K.X.; Silva, E. (2009) Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, n. 6, v. 33, p. 1063-1069.
- Snoeyink, V.L. & Jenkins, D. (1980) *Water Chemistry*. Wiley, 480 p.
- Striegl, R.G. & Michmerhizen, C.M. (1998) Hydrologic influence on methane and carbon dioxide dynamics at two North-Central Minnesota lakes. *Limnology and Oceanography*, n. 43.
- Thomaz, S.M.; Bini, L.M.; Alberti, S.M. (1997) Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. EDUEM, Maringá, 387 p.
- Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Calijuri, M.C. (1993) Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRASKABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. *Comparative reservoir limnology and watermanagement*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 25-55.
- Utsumi, M.; Nojiri, Y.; Nakamura, T.; Nozawa, T.; Otsuki, A.; Takamura, N.; Watanabe, M.; Seki, H. (1998) Dynamics of dissolved methane and methane oxidation in dimict lake Nojiri during winter. *Limnology and Oceanography*, n. 43, v. 1, p. 10-17.
- Zuccari, M.L. (1991) *Determinação de fatores abióticos e bióticos do Ribeirão Lavapés (Botucatu, SP)*. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Faculdade de Ciências Agrônômicas) - Universidade Estadual Paulista, 113 p.