



VARIAÇÃO NICTEMERAL DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO PARA AVALIAÇÃO DO METABOLISMO DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS: IMPLICAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RIACHOS TROPICAIS

Wesley Aparecido Saltarelli – wesley.saltarelli@gmail.com

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Endereço: Av. Trabalhador São Carlense, 400

CEP: 13566-590 – São Carlos – São Paulo

Carlos Eduardo Kolb Maynardes Araújo de Campos Jordão – carlos.jordao@embrapa.br

Embrapa Pecuária Sudeste

Davi Gasparini Fernandes Cunha – davig@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Resumo: O metabolismo de riachos é um indicador de perturbação do ecossistema devido às influências da bacia hidrográfica e das atividades humanas sobre a estrutura dos corpos de água. O estudo da respiração e fotossíntese permite estimar os fluxos de energia através das cadeias alimentares e a análise dos processos autotróficos e heterotróficos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o metabolismo em riachos localizados no Cerrado (São Carlos, SP), pela determinação e modelagem das mudanças nas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na água em duas diferentes épocas do ano. Foram selecionados três corpos d'água de primeira ordem e com o mínimo de interferência antrópica em seus arredores, Espreado (ES), Broa (BR) e Canchim (CA). Foram observadas significativas mudanças nas concentrações de OD, refletindo predominantemente condições heterotróficas (as taxas de respiração excederam as de produção primária bruta, resultando em produção primária líquida negativa). A produção primária bruta variou entre 0,06-0,4 g/m².d (outubro de 2015) e 0-0,1g / m².d (maio de 2016) e a Respiração variou de 6,3-33,8 g/m².d (outubro) e 2,4-11,5g/m².d (maio). A predominância de condições heterotróficas sugere maior vulnerabilidade desses ecossistemas às entradas artificiais de matéria orgânica, que demandaria oxigênio para sua estabilização. A investigação do metabolismo em riachos pode auxiliar a definir as condições de referência naturais sobre o estado trófico de tais ambientes.

Palavras-chave: Riachos de primeira ordem, Metabolismo, Produção Primária Líquida, Estado Trófico.

DIEL VARIATION OF DISSOLVED OXYGEN FOR AQUATIC METABOLISM ASSESSMENT: IMPLICATIONS FOR TROPICAL STREAMS' MANAGEMENT

Abstract: The metabolism of the streams is an indicator of ecosystem disturbance due to the influences of the catchment and anthropic actions on the structure of the water bodies. The study of the



respiration and photosynthesis allows the estimation of energy fluxes through the food webs and the analysis of the autotrophic and heterotrophic processes. We aimed at evaluating the metabolism in streams located in the Brazilian savannah, Cerrado (São Carlos, SP), by determining and modeling the diel changes of dissolved oxygen (DO) in the water. Three water bodies with minimal anthropogenic interference in their surroundings were selected, Espraiado (ES), Broa (BR) and Canchim (CA). Significant diel changes were observed in the DO concentrations, reflecting predominantly heterotrophic conditions (respiration exceeded the gross primary production, with negative net primary production). The Gross Primary Production varied from 0.06-0,4 g/m².d (Oct, 2015) and from 0-0.1g/m².d (May, 2016) and the Respiration varied from 6.3-33.8 g/m².d (Oct) and from 2.4-11.5g/m².d (May). The predominance of heterotrophic conditions suggests increased vulnerability of the ecosystems to artificial inputs of organic matter that would demand oxygen to stabilize. The investigation of the metabolism in streams can help defining natural reference conditions of trophic state of such environments.

Keywords: Low-order streams, Metabolism, Net primary production, Trophic state.

1. INTRODUÇÃO

Os riachos, além de serem habitats para diversas espécies plantas, animais e outros organismos, oferecem uma série de benefícios diretos e indiretos às populações humanas. O equilíbrio ecológico desses ecossistemas aquáticos é fundamental para que tais ambientes possam desempenhar seus papéis na regulação do clima, na provisão de água para usos consuntivos e não consuntivos e na manutenção da biodiversidade. Para que esses serviços ambientais possam ser avaliados, estudos a respeito do funcionamento e das condições de referência dos ecossistemas naturais são necessários.

O metabolismo dos riachos pode ser utilizado como um indicador do nível de perturbação do ambiente, devido às influências da bacia hidrográfica e das atividades antropogênicas sobre as características e estrutura dos ecossistemas aquáticos (MULHOLLAND et al., 2005). A análise dos processos de respiração e fotossíntese permite a estimativa dos níveis de produção primária líquida e, conseqüentemente, a caracterização desses ambientes com a predominância de processos autotróficos ou heterotróficos (ODUM, 1956). O entendimento dos processos ecossistêmicos nesses ambientes se torna especialmente relevante quando considerada a deficitária infraestrutura de saneamento no Brasil e o limitado controle ou planejamento sobre a expansão agrícola e urbana no país.

A presente pesquisa teve como objetivo principal avaliar o metabolismo em três riachos preservados localizados no Cerrado (São Carlos, SP) em duas épocas distintas do período hidrológico. Para isso, foi realizada a determinação e a modelagem das mudanças da concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água como contribuição para o gerenciamento integrado desses recursos hídricos e ferramenta para avaliação ambiental.


2. MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Esse estudo foi realizado em três riachos de pequeno porte (vazão inferior a 50 L/s), denominados Espraiado (ES), Broa (BR) e Canchim (CAN), localizados nos municípios de São Carlos - SP (22° 01' 03" S e 47° 53' 27" W) e Itirapina - SP (22° 15' 10" S e 47° 49' 22" W), ambos pertencentes à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) 13, dos rios Tietê/Jacaré. Os três riachos (Tabela 1)

estão localizados em áreas de Cerrado relativamente preservadas, com acesso restrito e características de ambiente natural, com mata ciliar e cursos naturais praticamente intactos.

Tabela 1. Estações de coleta, incluindo nome do riacho, coordenadas geográficas e fotografia do trecho avaliado

Riacho e código	Espraiado – ES	Broa – BR	Canchim – CAN
Coordenadas geográficas	21°58'46,75" S 47°52'23,11" O	22°11'40,93" S 47°53'55,78" O	21°57'54,69" S 47°50'38,02" O
Fotografia			

2.2. Variáveis climatológicas

Foram compilados dados climatológicos de temperatura do ar (média mensal, máximos e mínimos) e precipitação pluviométrica (total mensal) oriundos de um posto meteorológico do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), situado no município de São Carlos (SP), a fim de caracterizar a área de estudo.

2.3. Variáveis da água

As amostragens foram realizadas, em cada riacho, nos meses de outubro de 2015 e maio de 2016, nos dias 13/10 e 02/05 (ES), 19/10 e 03/05 (BR) e 20/10 e 10/05 (CAN).

Foram efetuadas medições *in situ* de temperatura (°C), oxigênio dissolvido (% e mg.L⁻¹), condutividade elétrica (µS/cm) e turbidez (UNT) por meio de sonda multiparâmetros Hanna – 9828. Além disso, foram coletadas amostras para análise de sólidos suspensos totais e nutrientes (fósforo total, fosfato dissolvido, ortofosfato, nitrogênio total Kjeldahl, nitrito e nitrato), realizadas segundo APHA (2012), sempre em esquema com duas réplicas.

2.4. Estimativa da cobertura do dossel

A densidade de cobertura vegetal das matas ciliares foi mensurada, nos trechos avaliados em cada riacho, com auxílio de densiômetro esférico côncavo (LEMMON, 1956, 1957), nos dois períodos de coleta, com o propósito de acompanhar a variação sazonal do dossel.



2.5. Variáveis hidrológicas

A velocidade da água e a vazão foram determinadas, em todas as coletas, por meio da liberação pulsada de soluto conservativo (WEBSTER; VALETT, 1996).

Esse método constituiu na liberação de uma solução de NaCl, com volume e concentração conhecidos, no riacho. O deslocamento da solução foi observado por um condutivímetro de campo, localizado a jusante do ponto de lançamento, a partir do início do pulso até o retorno das condições iniciais. A condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) foi convertida para g/L de NaCl, por meio de uma curva de calibração construída com soluções de NaCl, em diversas concentrações.

A vazão foi calculada pela integração da área abaixo da curva de concentração de NaCl (Equação 1)

$$[\text{Vazão}] = \frac{[\text{massa utilizada de NaCl (g)}]}{\left[\int_0^t \text{Concentração de NaCl} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right) * \text{Tempo (s)} \right]} \quad (1)$$

[Vazão]: vazão do riacho ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$);

[Massa de NaCl]: massa de NaCl utilizada no soluto (g);

[Concentração de NaCl]: concentração obtida de NaCl ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$);

[Tempo]: tempo acumulado (s).

A velocidade foi calculada pela razão da distância e a soma do tempo acumulado até o pico da concentração de NaCl (Equação 2).

$$[\text{Velocidade}] = \frac{\text{Distância}}{\tau} \quad (2)$$

[Velocidade]: velocidade do riacho ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

[Distância]: distância entre o ponto de lançamento e o condutivímetro (m);

[T]: tempo acumulado (s) até a concentração máxima de NaCl.

2.6. Modelagem do metabolismo e determinação da produção primária

O metabolismo dos riachos foi estimado a partir da variação nictemeral das concentrações de oxigênio dissolvido na água, pelo método da estação única, com uso de sensores de OD com capacidade para armazenamento dos dados (MARZOLF; MULHOLLAND; STEINMAN, 1994, 1998; YOUNG; HURYN, 1998). Assim, foi possível estimar as taxas de respiração e de produção primária bruta e líquida. Esse procedimento foi realizado nos dois meses de coletas, por um período mínimo de três dias consecutivos em cada um dos riachos estudados.

Foram utilizados sensores (Onset-HOBO® U26-001 e PME - MiniDOT Logger) para medições da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) em intervalos de 10 minutos. Os sensores foram previamente calibrados, de acordo com os protocolos dos fabricantes. Simultaneamente, foram instalados sensores (Onset-HOBO® UA-002-64 e Odyssey™ - *Photosynthetic Active Radiation Logger*) para registro da radiação fotossinteticamente ativa, em intervalos de 10 minutos. Foi utilizado o sensor (Onset-HOBO® U20L-04) para registro da pressão barométrica diária dos respectivos dias, utilizada para calcular as taxas reaeração. Além disso, foram determinadas algumas características dos

riachos, necessárias para a modelagem, como comprimento (m), profundidade média (m) e largura média (m).

A reaeração nos riachos na interface ar-água, importante para a modelagem do metabolismo e a estimativa de R, PPB e PPL, foi avaliada por meio de um gás inerte, o traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) (DEMARS *et al.*, 2015). O gás, dissolvido previamente em uma solução de NaCl, foi liberado em uma vazão e distância conhecidas a montante da estação de controle de condutividade.

Após o lançamento da solução com o gás, posteriormente à observação do patamar de condutividade (*plateau*), foram coletadas amostras para análise da concentração de SF₆, em um cromatógrafo gasoso Shimadzu® com detector por captura de elétrons. Com base no decaimento da concentração de SF₆ ao longo de cada percurso, foi estimada a taxa de perda de oxigênio e consequentemente o coeficiente de reaeração, de acordo com as equações propostas por Demars *et al.* (2015).

O metabolismo foi modelado por meio do método do ajuste de curvas para estação única de monitoramento (DODDS *et al.*, 2013; RILEY; DODDS, 2012). A partir dos dados da concentração de O₂ ao longo do tempo, foi utilizado um modelo para as taxas metabólicas (GPP, R).

Foi utilizada uma relação adaptada de Parkhill e Gulliver (1999), para descrever a Respiração (R) do riacho corrigida em relação à temperatura. A PPB foi calculada por um modelo desenvolvido pela tangente hiperbólica (JASSBY; PLATT, 1976). Esse modelo foi executado com correção para temperatura, utilizando a equação de Parkhill e Gulliver (1999), para corrigir a P_{max} (fotossíntese máxima) para temperatura. A partir dos dados da GPP_t foi calculada a Produção Primária Bruta Diária. A PPL foi calculada pelo balanço entre a R e PPB do ecossistema.

3. RESULTADOS

3.1. Variáveis climatológicas

Os dados climatológicos compilados de temperatura do ar, nos meses outubro de 2015 e maio de 2016, no município de São Carlos (SP), mostraram temperatura do ar média de 26,3°C e 18,0°C, respectivamente, com máxima e mínima de 37°C e 16,1°C em outubro e 29,1°C e 9,1°C em maio, respectivamente. A precipitação total mensal foi de 44 mm em outubro e 136 mm em maio.

2.1. Variáveis hidrológicas

Houve variação da vazão e velocidade dos riachos nos dois meses avaliados (Tabela 2), com maiores vazões e velocidades em maio de 2016 (máximas de 18,6 L/s e 0,10 m/s, respectivamente) e menores em outubro de 2015 (mínimos de 1,8 L/s e 0,02 m/s, respectivamente). O riacho com maior vazão no período foi o BR, seguido do ES e EM.

Tabela 2 – Vazão e velocidade média dos riachos estudados nos meses de outubro de 2015 e maio de 2016

	Espraiado		Broa		Canchim	
	Outubro	Maior	Outubro	Maior	Outubro	Maior
Vazão (L/s)	3,9	12,3	7,9	18,6	1,8	4,4
Velocidade média (m/s)	0,02	0,07	0,03	0,05	0,05	0,10

2.1. Estimativa da cobertura do dossel

As densidades da cobertura vegetal apresentaram porcentagens médias entre 76-86% em outubro e 73-76% em maio. A variação da densidade (máxima e mínima), nos meses de outubro e maio, foi de 84-76% e 80-73% no ES, 82-73% e 79-73% no BR e 91-81% e 76-66% no CAN, respectivamente.

2.1. Variáveis da água

A temperatura e condutividade elétrica da água atingiram valores maiores no mês de outubro (Tabela 3). A maior concentração de oxigênio dissolvido observada foi de 6,6 mg/L no BR, seguida de 5,9 mg/L no CAN e 5,6 mg/L no ES, todas no mês de maio.

Tabela 3 – Medições *in situ*, com sonda multiparâmetros, nos meses de outubro de 2015 e maio de 2016

	Espriado		BROA		Canchim	
	Outubro	Maio	Outubro	Maio	Outubro	Maio
Temperatura (°C)	19,2	14,6	20,0	16,3	20,8	18,9
Condutividade elétrica (µS/cm)	23	9	6	7	34	26
Pressão barométrica (mmHg)	680,1	680,8	690,1	692,4	677,7	678,3
Oxigênio dissolvido (% de saturação)	50,7	62	55,0	73,3	73,2	70,4
Oxigênio dissolvido (mg/L)	4,6	5,6	4,5	6,6	5,8	5,9
Turbidez (UNT)	3,5	9,5	2,8	< 0,1	11,5	3,6

O fósforo total apresentou maior concentração no mês de outubro (55 µg/L CAN, 38 µg/L ES e 9 µg/L BR, Tabela 4). O nitrogênio total Kjeldahl foi maior no mês de maio (1,43 mg/L CAN, 0,83 mg/L BR e 0,81 mg/L ES) e as concentrações médias de nitrito e nitrato variaram entre 0,8-1,9 µg/L e 0,33-0,41 mg/L, respectivamente, para o mesmo mês.

Tabela 4 – Concentração de formas totais e dissolvidas de nitrogênio e fósforo nos três riachos em estudo nos meses de outubro de 2015 e maio de 2016

	Espriado		Broa		Canchim	
	Outubro	Maio	Outubro	Maio	Outubro	Maio
Fósforo Total (µg/L)	38,0	20,5	9,0	5,4	55,3	52,9
Fosfato Dissolvido (µg/L)	25,7	16,6	4,0	5,4	32,1	40,6
Ortofosfato (µg/L)	22,3	16,2	4,0	5,3	28,7	11,7
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	0,34	0,81	0,22	0,83	0,11	1,43
Nitrito (µg/L)	2,5	1,2	1,8	1,9	3,1	0,8
Nitrato (mg/L)	0,37	0,33	0,24	0,41	0,53	0,41

Os SST foram maiores em outubro (18,9 mg/L CAN, 8,5 mg/L ES e 1,9 mg/L BR) com maior fração orgânica em relação a fração inorgânica (Tabela 5).

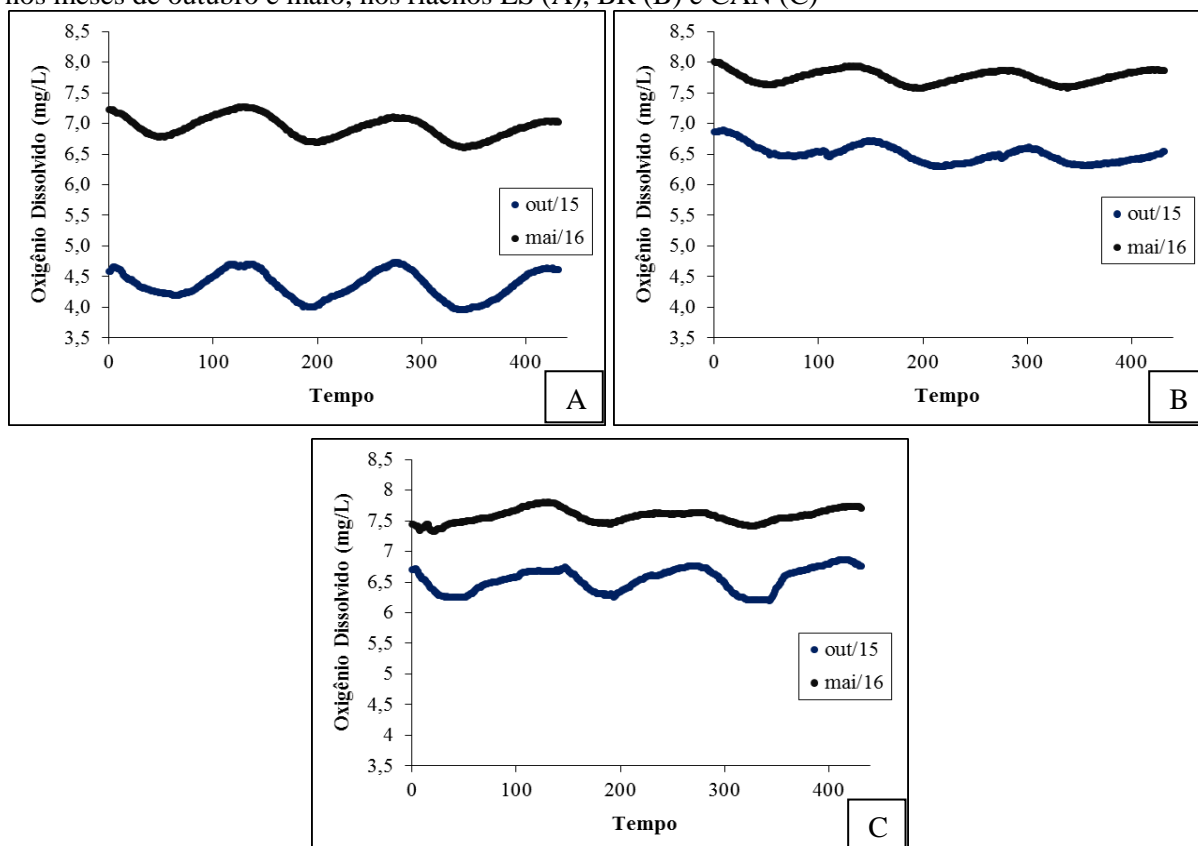
Tabela 5 – Concentração de sólidos suspensos totais (orgânicos e inorgânicos) nos meses de outubro de 2015 e maio de 2016

	Espreadado		Broa		Canchim	
	Outubro	Maió	Outubro	Maió	Outubro	Maió
SST (mg/L)	8,5	3,6	2,1	0,5	18,9	4,3
SSI (mg/L)	3,1	1,6	< 0,1	0,4	6,9	1,4
SSO (mg/L)	6,2	1,7	2,1	0,1	12	2,9

2.1. Metabolismo e produção primária

Os riachos apresentaram amplitude de variação na concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo de até 0,7 mg/L (Figura 1) e os dados foram modelados para obtenção dos valores de produção primária bruta e líquida dos respectivos trechos.

Figura 1 - Perfil diário de oxigênio dissolvido observado (mg/L), em intervalos de 10 minutos, nos meses de outubro e maio, nos riachos ES (A), BR (B) e CAN (C)





A partir do balanço entre a PPB e a R, os três riachos apresentaram condições heterotróficas (respiração excedeu a produção primária bruta, com a produção primária líquida negativa). A PPB variou de 0,06-0,4 g/m².d (outubro) e 0-0,1 g/m².d (maio) e a R oscilou entre 6,3-33,8 g/m².d (outubro) e 2,4-11,5 g/m².d (maio).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em todas as coletas, os riachos apresentaram predominância de condições heterotróficas, em que a respiração foi maior que a produção primária bruta. Essa característica pode conferir a esses ambientes maior vulnerabilidade aos efeitos do eventual aporte de nutrientes, por fontes de poluição difusa ou pontual. Além disso, induz a uma sensibilidade natural a cargas adicionais de matéria orgânica, de origem antrópica ou não, que elevem a Demanda Bioquímica de Oxigênio e gerem consequente redução da concentração de oxigênio dissolvido na água.

A disponibilidade de nutrientes pode influenciar a produtividade primária dos ecossistemas (MOISANDER et al., 2011). Tendo em vista que os três riachos estão localizados em áreas preservadas, as concentrações de nutrientes podem ser interpretadas como concentrações basais e utilizadas em futuros trabalhos em área de Cerrado.

O entendimento dos processos metabólicos oferece subsídios para projetos de monitoramento e conservação ambiental, no gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Tais informações possibilitam a compreensão do papel histórico, atual e futuro das atividades humanas nesses ambientes.

Agradecimentos

À agência financiadora CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior), Processo Nº 88881.068045/2014-01, pelos recursos financeiros concedidos para a realização deste projeto, e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: American Water Works Assn, 2012.

DEMARS, B. O. L.; THOMPSON, J.; MANSON, J. R. Stream metabolism and the open diel oxygen method: Principles, practice, and perspectives. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 13, n. 7, p. 356–374, jul. 2015.

DODDS, W. K. et al. Abiotic controls and temporal variability of river metabolism: multiyear analyses of Mississippi and Chattahoochee River data. **Freshwater Science**, v. 32, n. 4, p. 1073–1087, 12 ago. 2013.

JASSBY, A. D.; PLATT, T. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 21, n. 4, p. 540–547, 1976.

LEMMON, P. E. A Spherical Densimeter for Estimating Forest Overstory Density. **Forest Science**, v. 2, n. 4, p. 314–320, 1956.

LEMMON, P. E. A New Instrument for Measuring Forest Overstory Density. **Journal of Forestry**, v. 55, n. 9, p. 667–668, 1957.

MARZOLF, E. R.; MULHOLLAND, P. J.; STEINMAN, A. D. Improvements to the Diurnal Upstream–Downstream Dissolved Oxygen Change Technique for Determining Whole-Stream Metabolism in Small Streams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 51, n. 7, p. 1591–1599, 1994.



MARZOLF, E. R.; MULHOLLAND, P. J.; STEINMAN, A. D. Comment: Improvements to the diurnal upstream-downstream dissolved oxygen change technique for determining whole-stream metabolism in small streams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 55, n. 7, p. 1784–1785, 1998.

MOISANDER, P. H. et al. Facultative diazotrophy increases *Cylindrospermopsis raciborskii* competitiveness under fluctuating nitrogen availability. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 79, n. 3, p. 800–811, 2011.

MULHOLLAND, P. J.; HOUSER, J. N.; MALONEY, K. O. Stream diurnal dissolved oxygen profiles as indicators of in-stream metabolism and disturbance effects: Fort Benning as a case study. **Ecological Indicators**, v. 5, n. 3, p. 243–252, ago. 2005.

ODUM, H. T. Primary Production in Flowing Waters1. **Limnology and Oceanography**, v. 1, n. 2, p. 102–117, 1956.

PARKHILL, K. L.; GULLIVER, J. S. Modeling the effect of light on whole-stream respiration. **Ecological Modelling**, v. 117, n. 2-3, p. 333–342, maio 1999.

RILEY, A. J.; DODDS, W. K. Whole-stream metabolism: strategies for measuring and modeling diel trends of dissolved oxygen. **Freshwater Science**, v. 32, n. 1, p. 56–69, 18 dez. 2012.

WEBSTER, R. J.; VALETT, H. M. Solute Dynamics. In: **Methods in Stream Ecology**. 2ª. ed. [s.l.] Elsevier, 1996. p. 169–185.

YOUNG, R. G.; HURYN, A. D. Comment: improvements to the diurnal upstream-downstream dissolved oxygen change technique for determining whole-stream metabolism in small streams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 55, p. 1784–1785, 1998.