

## MONITORAMENTO CONTINUO DE EBULIÇÃO DE GASES EM UM RESERVATÓRIO SUBTROPICAL

*Lediane Marcon<sup>1\*</sup> & Tobias B. Bleninger<sup>2</sup> & Michael Mannich<sup>3</sup>*

**Resumo** – O fluxo ebulitivo é um importante meio de transporte de gás de corpos d’água para a atmosfera. Devido à grande variabilidade espacial e temporal a estimativa da ebulição de gases demanda métodos que permitam avaliar as variações temporais e espaciais. Este artigo apresenta resultados preliminares da utilização de funis automáticos para medição da ebulição de gases em um reservatório de abastecimento público com alta resolução temporal. As medições foram realizadas em três pontos ao longo do reservatório Passaúna em Curitiba, Paraná. As médias das intensidades de ebulições horárias que ocorreram foram de  $(267,43 \pm 479,67)$  ml/m<sup>2</sup>/dia,  $(252,55 \pm 289,49)$  ml/m<sup>2</sup>/dia e  $(177,32 \pm 468,51)$  ml/m<sup>2</sup>/dia nos três pontos respectivamente. Os eventos de ebulição ocorreram de forma geral com maior frequência dos fluxos de menor intensidade e com intervalos de tempo entre eventos de ebulição na escala de minutos. Mostrou-se que há uma variabilidade temporal muito grande de eventos de ebulição e variação significativa entre os três pontos.

**Palavras-Chave** – Funil automático, variação temporal.

## CONTINUOUS MONITORING OF GAS BUBBLING IN A SUBTROPICAL RESERVOIR

**Abstract** – Ebullition flux is an important way of transporting gas through the water column to the atmosphere. Due to ebullitions spatial and temporal variability, the estimative of ebullition flux requires methods that consider its spatial and temporal variability. This article presents preliminary results regarding the utilization of automated bubble traps for measuring ebullition fluxes in a freshwater reservoir with high temporal resolution. Ebullition was measured in three locations along Passaúna reservoir in Curitiba, Paraná. The mean intensity of hourly ebullition flux recorded at the three locations was  $(267,43 \pm 479,67)$  ml/m<sup>2</sup>/day,  $(252,55 \pm 289,49)$  ml/m<sup>2</sup>/day and  $(177,32 \pm 468,51)$  ml/m<sup>2</sup>/day respectively. In a general way, the low-intensity ebullition events were more frequent and the time interval between events were in the scale of minutes. In general, temporal variations are very high, and spatial variations significant.

**Keywords** – Automated bubble trap, temporal variability.

<sup>1</sup> Afiliação: Mestranda, Universidade Federal do Paraná, e-mail: lediane.engambiental@gmail.com

<sup>2</sup> Afiliação: Professor do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR), e-mail: bleninger@ufpr.br

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR), e-mail: mannich@ufpr.br

\* Autor Correspondente

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos tem apontado para reservatórios e corpos de água em geral como uma fonte emissora de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, como o metano e o dióxido de carbono. Em ambientes aquáticos o metano é formado a partir do carbono orgânico que entra no ambiente na forma particulada ou dissolvida na água (Maeck e Lorke, 2014) e pode ser transferido para a atmosfera através de três caminhos principais: fluxo difusivo, fluxo de ebulição e através de plantas (Joyce e Jewell, 2003). Dentre esses caminhos Bastviken *et al.* (2004) bem como Deemer *et al.* (2016) apontam a ebulição como o principal contribuinte na transferência de metano para a atmosfera na ordem de até 60% das emissões totais.

Kan *et al.* (2015) reúnem aspectos importantes a serem considerados na estimativa de emissões de GEE por reservatórios. Nesta linha destaca-se também o manual elaborado pela Associação Internacional de Hidrelétrica (IHA, 2010) que trata de diretrizes em relação a medições e estimativas de emissões de GEE.

Os eventos de ebulição dependem das características físicas e químicas do ambiente e são influenciados por fatores ambientais que ocorrem em diferentes escalas temporais. Em consequência, a ebulição é um processo que apresenta grande variabilidade espacial e temporal, o que implica que a quantificação do volume de gás emitido requer medições por longos períodos e abrangendo grandes áreas (Del Sontro, 2011).

Diferentes métodos são aplicados para a medição dos fluxos difusivos e ebulitivos. A difusão pode ser quantificada através de câmeras de difusão, como apresentado por Mannich *et al.* (2013). A ebulição é medida com funis instalados de forma a ficar submersos na coluna d'água em locais fixos (IHA, 2010 e Santos *et al.*, 2002) chamados aqui de funis convencionais. No caso destes funis convencionas o volume de gás coletado é medido manualmente e verificado em intervalos de tempo de poucas horas a alguns dias a ser definido de acordo com o objetivo.

Resultados destes estudos mostravam muitas incertezas associadas a este tipo de medição, já que os funis convencionais não necessariamente captam os eventos relevantes de ebulição.

Para conseguir detectar e quantificar estes eventos foram desenvolvidos funis automáticos como uma alternativa para medição contínua de gás (Maeck *et al.*, 2014), já que não depende da aferição manual do volume de gás e permitem avaliar a variação temporal das ebulições por períodos longos e com alta resolução. Desta forma, o objetivo desta pesquisa é utilizar funis automáticos para quantificar a ebulição de gás com uma alta resolução temporal, tendo como região de estudo um reservatório de abastecimento público, localizado em Curitiba-PR.

## 2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

Os funis automáticos, Figura 1, determinam o volume de gás em intervalos de 5 a 60 segundos enquanto permanecem submersos na água. Pesos são utilizados para evitar o deslocamento do equipamento enquanto boias mantém a posição na superfície. Os funis possuem diâmetro da base ( $D_b$ ) de 1 m, por onde as bolhas capturadas são direcionadas para um tubo interno equipado com um sensor de pressão diferencial. Além da altura de gás, o equipamento registra a temperatura da água e a pressão absoluta. Com essas informações é determinado o fluxo volumétrico de gás (SENECT, 2017).

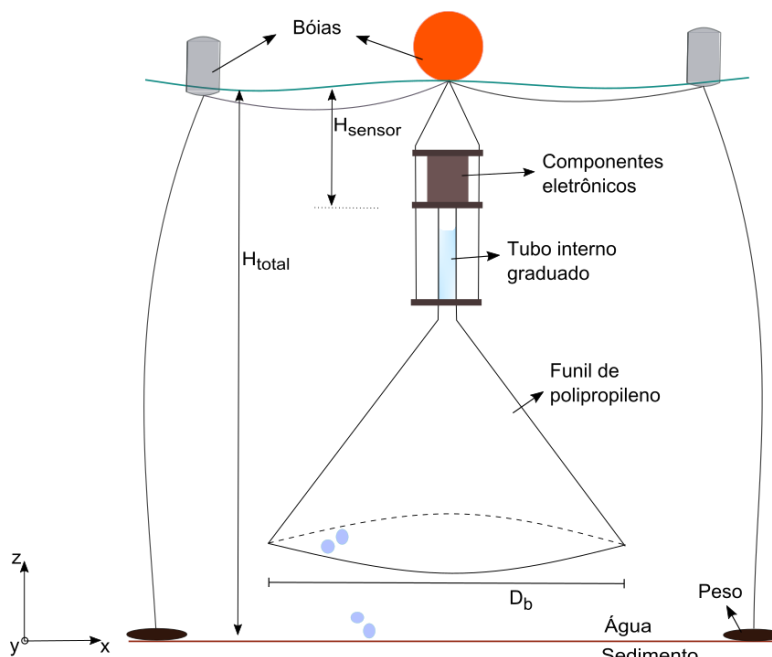


Figura 1 - Representação esquemática do funil automático de medição de ebulição. Adaptado de SENECT (2017).

A principal vantagem de utilização do funil automático é obter medições contínuas por longos períodos e com resolução temporal de segundos, que permite avaliar a variabilidade temporal dos eventos de ebulição. Em estudos como Varadharajan *et al.* (2010), Maeck *et al.* (2014) e Wilkinson *et al.* (2015) podem ser encontradas informações adicionais sobre o funcionamento dos funis automáticos e a respeito de medições do fluxo de ebulição em corpos d'água com esses equipamentos. Porém, nenhuma medição ou aplicação foi feita em lagos tropicais.

O reservatório Passaúna, localizado em Curitiba, Paraná, Figura 2, foi formado em 1990 com a construção da barragem no rio Passaúna. A bacia de drenagem do rio Passaúna tem área aproximada de 217 km<sup>2</sup>, o reservatório é utilizado para abastecimento público, possui volume útil de 48×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e capacidade de fornecer ao sistema de Curitiba 2 m<sup>3</sup>/s de água (SUDERHSA e RDR, 2007).

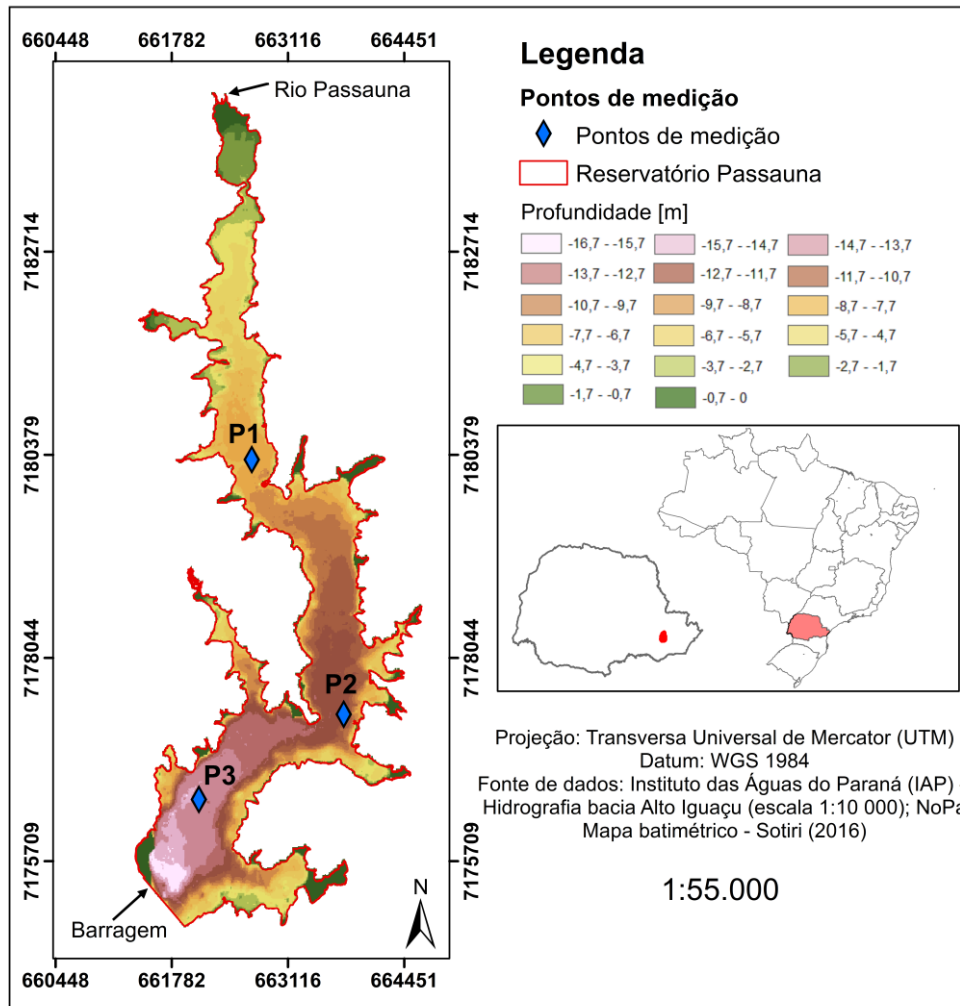


Figura 2 - Localização geográfica do reservatório Passaúna e dos pontos de monitoramento dos funis automáticos.

O reservatório possui tempo de residência médio de 292 dias sendo que seu principal afluente é o rio Passaúna com vazão média na ordem de  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (Carneiro *et al.*, 2016). Os pontos de instalação dos funis automáticos foram definidos tendo em conta a batimetria do reservatório e a espessura do sedimento de fundo apresentados em estudo prévio de (Sotiri, 2016). O ponto 1, está nas proximidades do parque Passaúna; o ponto 2 está próximo a Captação de água e ponto 3 na região mais profunda próximo a barragem. As profundidades da coluna d'água em cada ponto são de 8,8 m, 12,3 m e 14,6 m respectivamente. O nível do reservatório exerce poucas variações, assim mantendo estas profundidades praticamente constantes ao longo do tempo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a variação temporal do fluxo volumétrico de gás determinado para as condições padrão de temperatura e pressão ( $20^\circ\text{C}$  e 1013 mbar) e do volume de gás acumulado ao longo de um dia. Períodos em cinza são períodos de falha nos dados, já que o equipamento é um protótipo e se encontrou em fase de testes. O período de monitoramento foi de 10 de fevereiro a 14 de abril de 2017 com registros a cada 15 segundos.

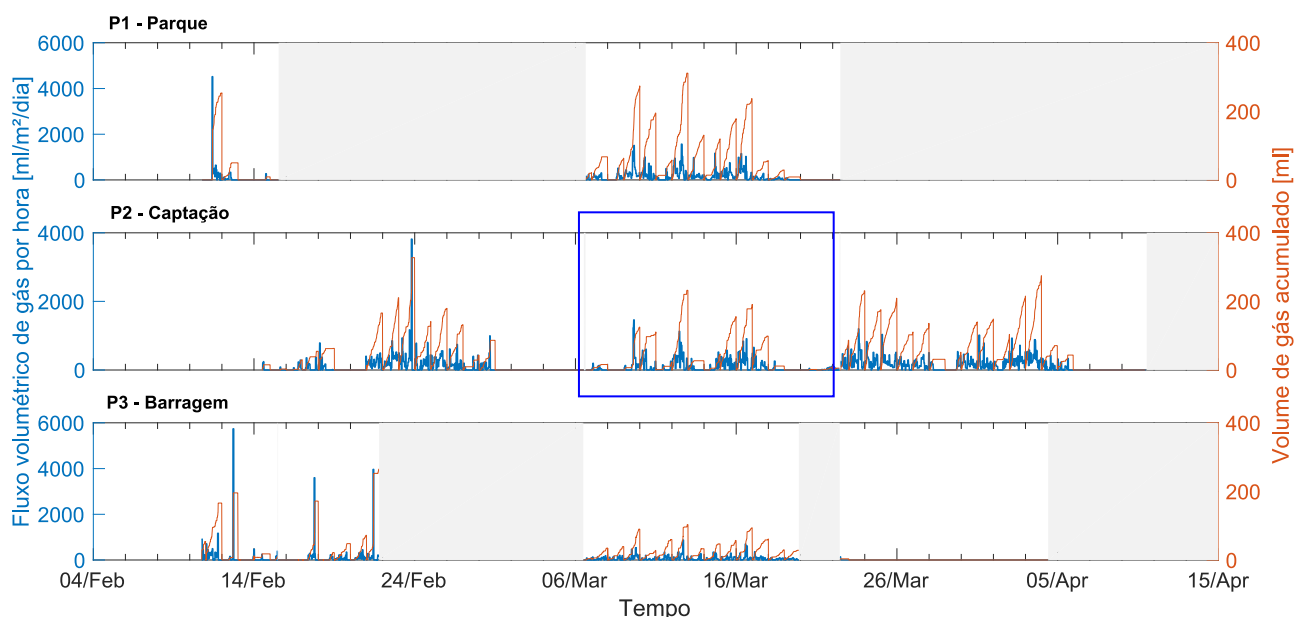


Figura 3 - Variação temporal do fluxo ebulitivo em  $\text{ml/m}^2/\text{dia}$ , integrado em intervalos de 1 hora, nos pontos de medição. A região em cinza representa períodos sem monitoramento. A segunda escala (cor alaranjada) representa o volume acumulado ao longo do tempo para cada dia

Observa-se uma grande variabilidade temporal com períodos longos sem ebulição e períodos com ebulição grande. Isto mostra a importância de quantificar o processo ebulitivo com escala temporal pequena, já que medições convencionais com uma periodicidade típica mensal poderiam resultar em valores muito diferentes. Também, observa-se uma diferença entre os pontos de medição, mas com indicações de correlações dos eventos grandes. O valor máximo do fluxo de gás horário, a média das intensidades dos fluxos para o período monitorado (média dos fluxos registrados excluindo períodos em que não houve ebulição) e o desvio padrão em cada ponto de medição são mostrados na Tabela 1. Há evidências de correlação negativa entre a intensidade média do fluxo de gás e a profundidade da coluna d'água, consistente com o observado por Bastviken *et al.* (2004) e Del Sontro *et al.* (2011).

Tabela 1- Valor máximo, intensidade média e desvio padrão do fluxo de gás horário em cada ponto de medição para o período de monitoramento.

	Profundidade da coluna d'água [m]	Fluxo máximo [ $\text{ml/m}^2/\text{dia}$ ]	Intensidade média do fluxo de gás horário [ $\text{ml/m}^2/\text{dia}$ ]	Desvio Padrão [ $\text{ml/m}^2/\text{dia}$ ]
<b>P1</b>	8,8	4518,3	267,4	479,7
<b>P2</b>	12,3	3816,2	252,5	289,5
<b>P3</b>	14,6	5739,5	177,3	468,5

A variabilidade temporal dos eventos de ebulição em diferentes escalas de tempo (de minutos a dias) pode ser observada na Figura 4, em que o período em destaque no ponto P2 é tomado como exemplo. Observa-se que o fenômeno se manifesta como uma sequência de períodos de ebulição com intervalos sem ocorrência. Estes eventos potencialmente estão associados a forçantes que desencadeiam a liberação das bolhas da matriz do sedimento como incidência de vento, correntes de fundo, variações no nível de água e disponibilidade de gás no sedimento (Bastviken *et al.*, 2004 e Joyce e Jewell, 2003).

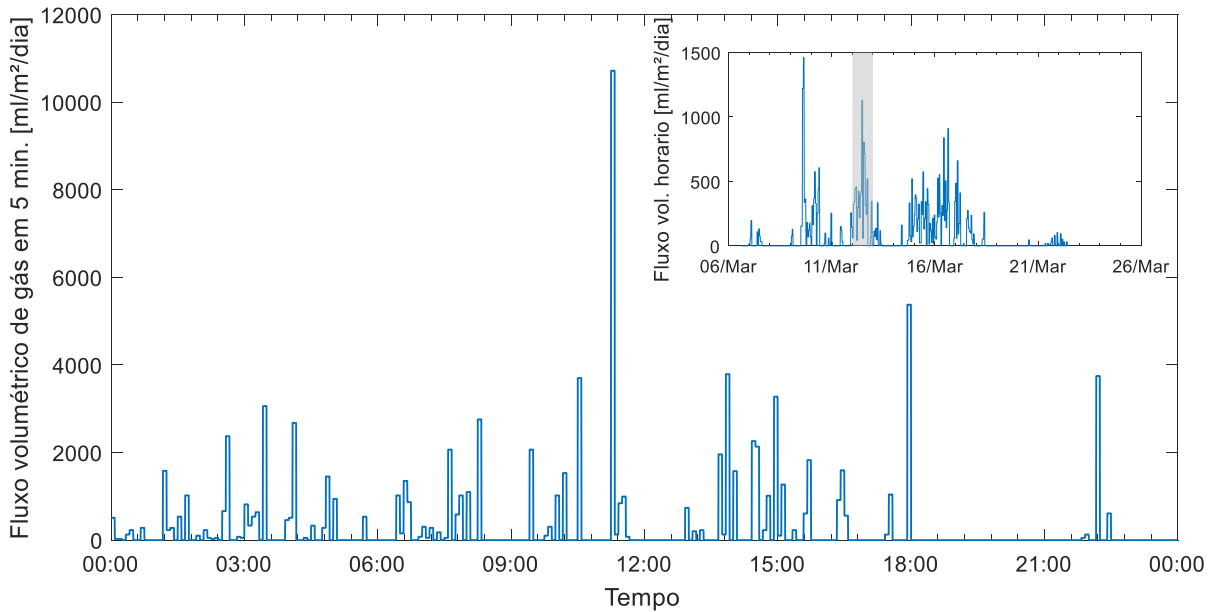


Figura 4 - Variação temporal do fluxo ebulitivo em ml/m<sup>2</sup>/dia, integrado em intervalos de 5 minutos, no ponto de medição P2 - Captação no dia 12 de março de 2017.

Definiu-se um “evento de ebulição” como um período de registo contínuo de ebulição, independente da sua magnitude, no intervalo de registros considerado (15 segundos). Os intervalos de tempo entre “eventos de ebulição” foram contabilizados para produzir os histogramas de frequência apresentados na Figura 5. Adicionalmente, a Figura 5 apresenta os histogramas de frequência das intensidades do fluxo em intervalos integrados de 5 minutos.

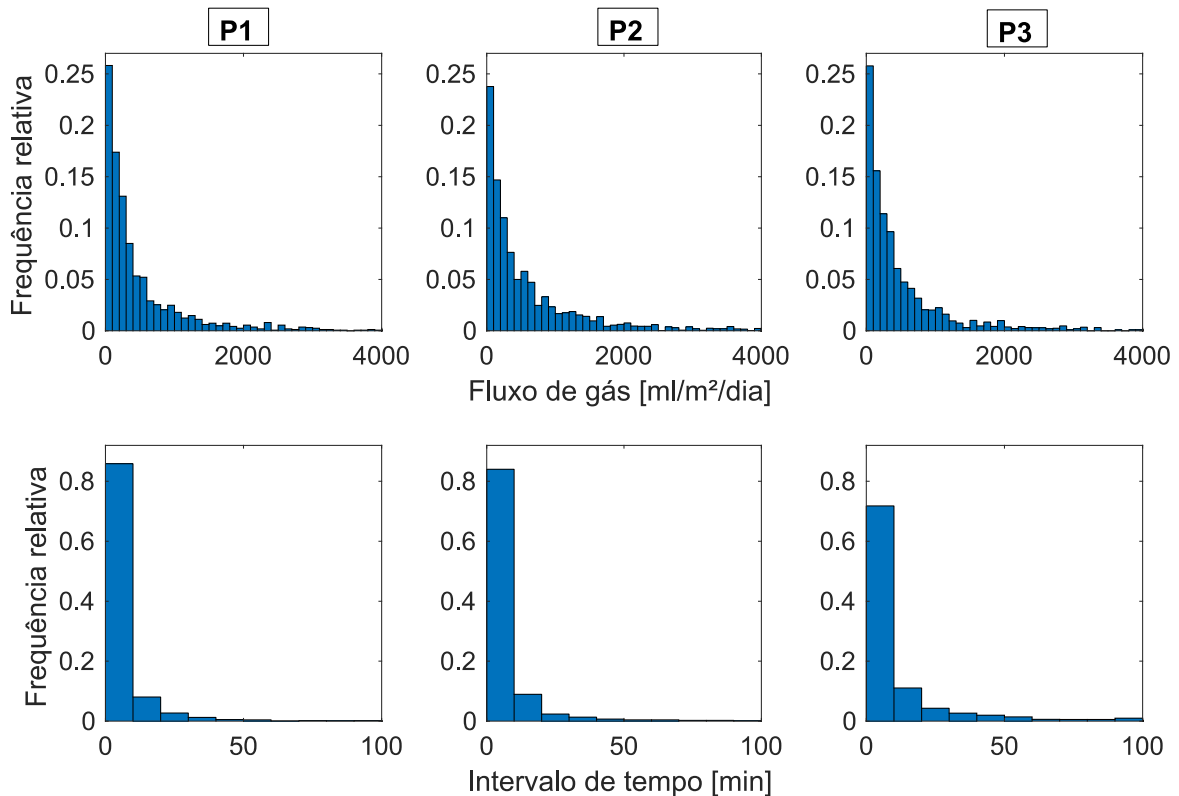


Figura 5 - Histogramas de distribuição e frequência do fluxo ebulitivo integrado em 5 minutos e do intervalo de tempo entre eventos de ebulição em cada ponto de medição.



A característica da distribuição é exponencial, em que as menores intensidades ocorrem com maior frequência. Considerando o ponto P2, por exemplo, em torno de 24% do fluxo de gás é de até 100 ml/m<sup>2</sup>/dia e 84% do intervalo de tempo entre eventos foi menor que 10 min.

#### 4. CONCLUSÕES

Os funis automáticos implementados aqui são atualmente a única técnica de monitoramento conhecida para obter dados em alta resolução temporal (na escala de segundos) capaz de identificar os eventos de ebulição e suas intensidades de fluxo.

Os eventos de ebulição foram caracterizados por predominarem em pequenas intensidades de fluxo e com curto intervalo de tempo entre os eventos. Esta variabilidade temporal do fenômeno deve ser considerada nas estimativas de fluxo ebulitivo, podendo ocorrer super ou subestimativa de acordo com o período analisado.

Os estudos seguintes analisarão os processos responsáveis de ebulição através de correlações com medições ambientais (vento, temperatura, pressão, nível vazão, entre outros).

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa alemã Senect, em nome de Andreas Maeck, desenvolvedora do funil automático para captura e medição de bolhas pelo suporte técnico com o equipamento; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao projeto NoPa – Novas Parcerias pelo auxílio financeiro e à Sanepar pelo apoio ao projeto NoPa.

#### REFERÊNCIAS

- BARROS, N.; COLE, J. J.; TRANVIK, L. J.; *et al.* (2011). Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience*, v. 4, n. 9, p. 593–596. Nature Publishing Group. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1211>>. .
- BASTVIKEN, D.; COLE, J.; PACE, M.; TRANVIK, L. (2004). Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 18, n. 4, p. 1–12.
- CARNEIRO, C.; KELDERMAN, P.; IRVINE, K. (2016). Assessment of phosphorus sediment–water exchange through water and mass budget in Passaúna Reservoir (Paraná State, Brazil). *Environmental Earth Sciences*, v. 75, n. 7, p. 564. Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12665-016-5349-3>>. .
- DEEMER, B. R.; HARRISON, J. A.; LI, S.; *et al.* (2016). Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A New Global Synthesis Manuscript. *BioScience*, v. 66, n. 11, p. 949–964.
- INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION (IHA). (2010). *GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs*. London.
- JOYCE, J.; JEWELL, P. W. (2003) Physical controls on methane ebullition from reservoirs and lakes. *Environmental and Engineering Geoscience*.
- KAN, A.; LIPSKI, B.; POLLI, B. A.; *et al.* (2015). *Discussões e reflexões sobre estimativas de emissões de GEE em reservatórios*. Curitiba.
- MAECK, A.; HOFMANN, H.; LORKE, A. (2014). Pumping methane out of aquatic sediments - ebullition forcing mechanisms in an impounded river. *Biogeosciences*, v. 11, n. 11, p. 2925–2938.
- MAECK, A.; LORKE, A. (2014). Ship-lock-induced surges in an impounded river and their impact on subdaily flow velocity variation. *River Research and Applications*, v. 30, n. 4, p. 494–507.

MANNICH, M.; BLENINGER, T. B.; FERNANDES, C. V. S. (2013). Câmaras flutuantes para medição de fluxo de gases na interface água-ar I: Análise Teórica. *Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves.

SANTOS, E. O. DOS; ROSA, L. P.; SANTOS, M. A. DOS. (2002). Técnicas De Medida E Análise De Gases De Efeito Estufa Em Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. *Anais XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*.

SENECT. (2017). *The Automated Bubble Trap (ABT) - Continuous measurement of the gas bubble rate*. Disponível em: <<http://www.senect.de/abt/>>. Acesso em: 3/4/2017.

DEL SONTRO, T. S. (2011). *Quantifying methane emissions from reservoirs : From basin-scale to discrete analyses with a focus on ebullition dynamics*. (Tese de doutorado). ETH Zurich.

DEL SONTRO, T. S.; KUNZ, M. J.; KEMPTER, T.; *et al.* (2011). Spatial heterogeneity of methane ebullition in a large tropical reservoir. *Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 23, p. 9866–9873.

SOTIRI, K. (2016). *Investigation of urban mass fluxes to river systems through the use of reservoirs as validation points*. (Dissertação de mestrado). Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe.

SUDERHSA; RDR. (2007). *Plano de Bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira: Relatório de Diagnóstico*. Curitiba.

VARADHARAJAN, C.; HERMOSILLO, R.; HEMOND, H. F. (2010). A low-cost automated trap to measure bubbling gas fluxes. *Limnology and Oceanography: Methods*, v. 8, p. 363–375.

WILKINSON, J.; MAECK, A.; ALSHBOUL, Z.; LORKE, A. (2015). Continuous Seasonal River Ebullition Measurements Linked to Sediment Methane Formation. *Environmental Science and Technology*, v. 49, n. 22, p. 13121–13129.