

REVISTA GEAMA Ciências Ambientais

Plataforma flutuante de baixo custo para pesquisas em micrometeorologia e qualidade da água em reservatórios

Tatyana Keyty de Souza Borges^{(1)*}, Aureo Silva de Oliveira⁽²⁾, Neilon Duarte da Silva⁽³⁾ e Carlos Eduardo Santana⁽⁴⁾

^(1,2,3,4) Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

* Autor correspondente. tatyana_keyty@yahoo.com.br

RESUMO

É comum o uso de flutuadores em superfícies hídricas para coleta de dados atmosféricos e da água. O objetivo da pesquisa foi descrever as características, etapas de construção e teste de uma plataforma flutuante (PF), de baixo custo, para estudos micrometeorológicos e limnológicos em reservatórios. Como parte dos testes de funcionalidade e confiabilidade da PF, mediu-se a radiação de onda curta (ROC) e de onda longa (ROL) com radiômetros líquidos instalados na PF e numa torre meteorológica próxima. Análise de regressão linear mostrou alto nível de concordância entre os dois instrumentos ($r^2 > 0,99$), com $12,56 \text{ W m}^{-2}$ de erro padrão da estimativa para ROC (3,5% do ROC médio) e $1,84 \text{ W m}^{-2}$ para ROL (0,5% do ROL médio). O custo final com materiais foi de apenas R\$ 1750,00, tornando a PF uma alternativa economicamente viável e cientificamente confiável para coleta de dados em lagos, rios e reservatórios.

Palavras-chave: bóia, micrometeorologia, balanço de radiação e limnologia.

ABSTRACT

Low-cost floating platform for research on micrometeorology and water quality in reservoirs

Buoys and other types of floating platforms are commonly used to collect atmospheric and water parameter data. In this paper the characteristics of a low-cost floating platform (FP) and the steps taking in its construction are addressed as well as the performed tests. As part of the functionality and reliability of the platform, incident shortwave (SWR) and longwave radiation (LWR) were measured at the FP and at a

nearby tower. Linear regression applied to radiation data showed high agreement ($r^2 > 0.99$) between the net radiometers with a 12.56 W m^{-2} standard error of estimate (SEE) for SWR (3.5% of mean SWR) and 1.84 W m^{-2} for LWR (0.5% of mean LWR). The total cost with components for the FP was around US\$ 475.00 making the equipment herein described a valuable choice for collecting data in lakes, rivers, and reservoirs.

Keywords: buoy, micrometeorology, limnology, radiation balance.

INTRODUÇÃO

Quando estruturas fixas não são viáveis, a coleta contínua de dados em corpos hídricos tipicamente requer algum tipo de plataforma flutuante (PF) devidamente ancorada. Vários autores relatam a tomada de dados utilizando esse tipo de estrutura, em reservatórios naturais e artificiais (Alcântara e Stech, 2011; Armani et al., 2013; Vale et al., 2013; Heiskanen et al., 2014) bem como em rios e mares (Alcântara et al., 2010; Cardoso e Dourado, 2014).

Essas PF, que podem ser comerciais ou artesanais, diferem quanto ao tamanho, capacidade de suporte, facilidade de instalação e custo. Em oposição à coleta de dados atmosféricos sobre superfícies hídricas por estações em terra firme nas imediações do lago, o posicionamento da PF no centro do espelho d'água com suficiente bordadura é mais adequado, além de permitir medições na água em maiores profundidades.

A água é um fluido com propriedades térmicas, radiativas e aerodinâmicas específicas (Oke, 1995), de forma que lagos tendem a criar um ambiente próprio muito distinto do terrestre (Roque e Sansigolo, 2001). No lago Valkea-Kotinen, Finlândia, Vesala et al. (2006) ancoraram distante das margens uma PF artesanal de 5 m x 5 m para medição de fluxos turbulentos com um sistema de *eddy covariance*.

Inúmeros parâmetros atmosféricos e de propriedades físicas, químicas e biológicas da água podem ser monitorados com o uso de PF, conferindo a essas estruturas de suporte ampla flexibilidade. Atualmente existem várias dessas PF em diferentes pontos do Brasil, com ênfase em reservatórios de usinas hidroelétricas (Stech et al., 2006; Alcântara et al., 2013).

Cardoso e Dourado (2014) avaliaram dados meteorológicos e oceanográficos da bóia ARGOS-32056, para validar um modelo unidimensional de resposta da superfície do oceano à passagem de frentes frias na região da Confluência Brasil-Malvinas. Heiskanen et al. (2014) utilizaram uma PF semelhante a de Vesala et al. (2006) na superfície do lago Kuivajarvi, também na Finlândia, para medir fluxo de CO_2 , armazenamento de calor na água e balanço de radiação.

As PF comerciais de uso em pesquisa científica são tipicamente de alto custo (até US\$ 20.000,00 por unidade), dependendo do material de fabricação, tamanho e tecnologia de coleta e transmissão dos dados. Restrições orçamentárias em projetos de pesquisa induzem ao desenvolvimento de flutuadores mais baratos, funcionais e que garantam o necessário rigor científico na coleta de dados. Por outro lado, a construção de PF artesanais deve levar em conta a estabilidade da estrutura, capacidade de suporte e área superficial para distribuição dos

instrumentos e equipamentos auxiliares de armazenamento de dados e geração de energia.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é descrever a concepção, construção e teste de uma plataforma flutuante de baixo custo em apoio a estudos micrometeorológicos e de qualidade da água em reservatórios.

MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo de plataforma flutuante aqui descrito foi projetado e construído no Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), campus de Cruz das Almas, Bahia (12° 40' S, 39° 06' W, 225 m).

A PF foi planejada para reunir qualidades essenciais como custo baixo, facilidade de transporte, praticidade na montagem e desmontagem, durabilidade e funcionalidade operacional, permitindo a reprodução do protótipo com facilidade. O material utilizado na construção da PF foi todo adquirido no comércio local.

1. Preparação das partes principais

Na preparação das principais partes da PF, as seguintes etapas foram cumpridas: (a) corte de tubos de aço galvanizado com diâmetros externos de 26,7 mm ($\frac{3}{4}$ " e 33,4 mm (1") e abertura de roscas em oficina de torneiro mecânico para montagem do suporte dos sensores; (b) construção, em marcenaria, de uma base de madeira de 4 m² e 15 mm de espessura; (c) corte de um tubo de PVC branco (200 mm) em segmentos de 1,5 m e colagem das partes, incluindo conexões, para fabricação da bóia com área externa final de 3,24 m² (1,8 m x 1,8 m); (d) revestimento da base de madeira com manta vinil, esticada, colada e grampeada na madeira; (e) corte de uma barra chata de ferro em três segmentos (1,5

m, 1,0 m e 0,5 m) e soldagem das partes para fabricação de uma cantoneira; (f) pintura anti-ferrugem da cantoneira e de duas bases em chapa de aço de 0,9 m² em oficina automotiva e (g) pintura da face não revestida da base de madeira com tinta óleo para impermeabilização.

2. Teste de flutuabilidade e de coleta de dados

Após a montagem definitiva da PF testes foram realizados. O primeiro foi um teste de flutuabilidade, no qual a PF foi colocada num reservatório artificial de seção trapezoidal (35 m de largura x 85 m de comprimento x 5,8 m de profundidade) com lâmina máxima de 5,5 m, localizado na Fazenda Santo Antônio da empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda, Governador Mangabeira/BA (12°37' S, 39°03' W, 220 m).

A PF foi deixada em observação no reservatório por um período de uma semana. No terceiro dia, uma carga de 160 kg (sacos de areia) foi adicionada à plataforma e lá mantida pelo restante do período. Visitas ao local eram feitas diariamente para monitoramento da estrutura.

O segundo foi um teste de confiabilidade na coleta de dados, tendo em vista a influência da oscilação da superfície hídrica no nivelamento do sensor. Para tanto, fluxos de radiação solar incidente (onda curta) e radiação atmosférica (onda longa) foram medidos por aproximadamente quatro dias por meio de dois radiômetros líquidos (*modelo CNR4, Kipp & Zonen, The Netherlands*), sendo um instalado na PF e o outro numa torre meteorológica próxima.

Os instrumentos eram escaneados a cada 5 segundos e as médias reportadas a cada 5 minutos, usando-se sistemas de aquisição de dados individuais (*modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA*).

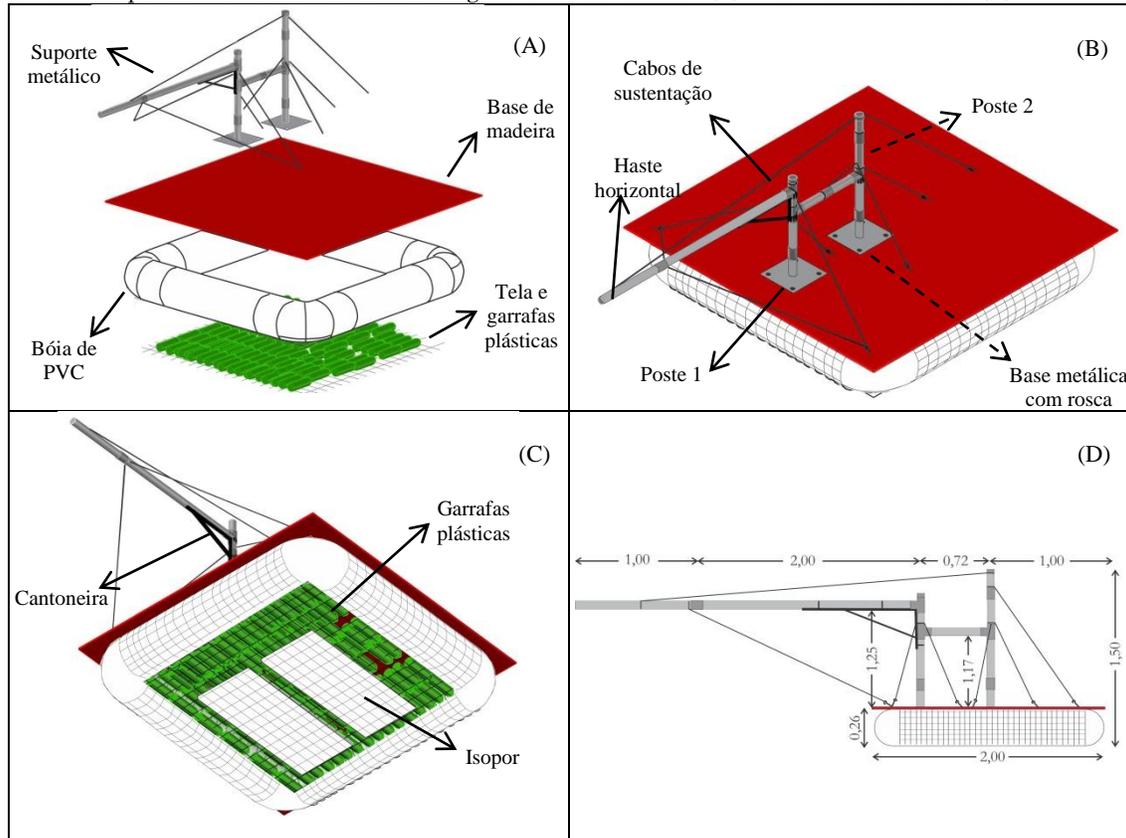
O CNR4 da PF foi instalado a 1,15 m da superfície da água e o CNR4 da torre ficou a 2,5 m de altura. Ambos os instrumentos foram devidamente nivelados e orientados para o norte geográfico. Análise de regressão linear foi utilizada para comparação dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Montagem da plataforma flutuante

A montagem definitiva da PF foi realizada na área experimental da Fazenda Santo Antônio. A Figura 1 mostra a plataforma sob diferentes perspectivas isométricas.

Figura 1 – Principais partes da PF (A), plataforma montada com destaque para o suporte de sensores (B), detalhe da parte inferior com encaixe das garrafas PET na bóia (C) e vista lateral da PF (D).



As etapas principais de montagem incluíram: (a) fixação da base de madeira na bóia de PVC por meio de arame; (b) encaixe de garrafas PET no espaço interno da bóia; (c) fechamento do espaço interno da bóia com tela de nylon, devidamente esticada e fixada na lateral da base de madeira com tachinhas de estofado e (d) montagem do suporte metálico dos instrumentos na base de madeira.

As dimensões de plataformas flutuantes artesanais como a descrita neste estudo podem variar de acordo com necessidades específicas do trabalho de investigação.

No presente caso, a área final foi de 4 m² (2 m x 2 m) com folga de 10 cm em cada lado em relação à bóia de PVC (1,8 m x 1,8 m). Vários tipos de plataformas artesanais com tamanho e formas variáveis são

relatados na literatura (Koberg, 1960; Spence, 2003; Vesala et al., 2006; Nordbo et al., 2011).

No Brasil, Barbosa e Mattos (2007) desenvolveram uma estação flutuante em fibra de vidro com área de 4,4 m² e 0,5 m de profundidade para estudar a evaporação do açude Campos, Rio Grande do Norte.

Stevenson et al. (1993) descreveram uma plataforma flutuante de coleta de dados confeccionada em fibra de vidro e estrutura de alumínio para suporte de sensores. Fatores como disponibilidade de recursos, facilidade de transporte para o local definitivo, carga de equipamentos e disponibilidade de mão de obra para montagem e instalação podem influenciar o dimensionamento de plataformas flutuantes artesanais.

2. Instalação e operação da plataforma

O teste de flutuabilidade da plataforma foi realizado em reservatório artificial de grande porte. Durante o período de testes observou-se que para manter a PF numa posição estável faziam-se necessários pontos de fixação. Como o vento na região é predominantemente sudeste com rajadas de até 10 m s⁻¹ a 3 m de altura, a PF foi ancorada com cordas de nylon nos lados leste, sul e oeste.

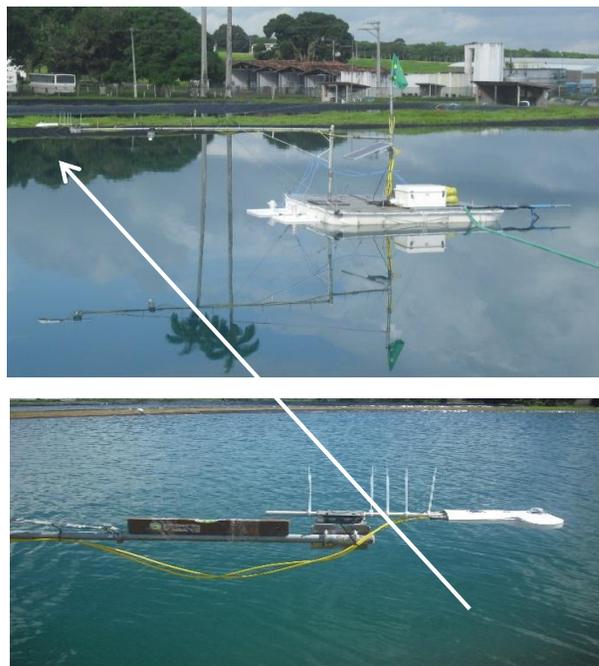
Em reservatórios maiores e em alto mar é comum fixar a plataforma de coleta de dados a dezenas ou até mesmo milhares de metros de profundidade (Alcântara et al., 2011; Cardoso e Dourado, 2014).

O uso de tubos de PVC de 200 mm, além de duas camadas de garrafas plásticas e folhas de isopor encaixadas na parte inferior em associação com algum método de ancoragem parecem ter conferido à PF a necessária estabilidade e confiabilidade para medições de longo prazo.

Vistorias na plataforma após os testes demonstraram não ter havido infiltrações de água no interior da tubulação, sugerindo que o processo de fabricação da PF foi adequado.

A Figura 2 mostra a PF em operação após montagem definitiva. Além do saldo radiômetro CNR4, outros sensores como termômetro ao infravermelho, termopares, termistores e turbidímetro completavam a carga de equipamentos, ao lado de um sistema de aquisição de dados e painel solar. Observa-se que a base de madeira da PF com 4 m² de área permitiu acomodar com facilidade todos os instrumentos e demais equipamentos usados nessa montagem.

Figura 2 – Plataforma flutuante com sensores para coleta de dados sobre superfície hídrica.



Essa é uma vantagem importante, especialmente quando o reservatório é muito largo e a plataforma precisa ser posicionada longe das margens para adequada bordadura (sistemas de *eddy covariance*, por exemplo) e também no caso de se usar instrumentos com cabos curtos que impeçam manter

o coletor de dados nas margens do reservatório para fácil acesso e download de dados.

O acesso aos dados armazenados no *datalogger* pode ser feito, dependendo dos custos envolvidos e da dimensão do reservatório, por telemetria ou download direto via computador portátil, o que requer o reboque da PF para a margem ou a ida a mesma com um barco. O reboque da plataforma tem a desvantagem de interferir na coleta de dados.

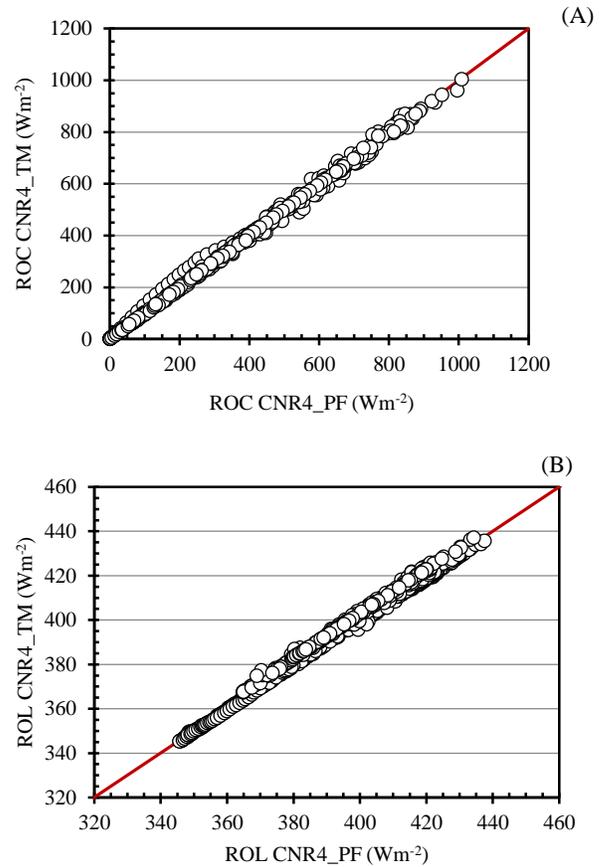
Na Figura 2, a barra horizontal posiciona o CNR4 a uma distância de 3 m da base da PF. Se necessário essa distância pode ser aumentada com adaptações no *design* da plataforma.

No caso específico de saldo radiômetros, quanto maior a distância menor a influência do material da plataforma no sinal do sensor. Esse é um exemplo da flexibilidade e versatilidade deste tipo de plataforma aqui descrita. Ela pode ser redesenhada para se adaptar às necessidades específicas de cada estudo.

3. Análise da confiabilidade na coleta de dados

Os dados de radiação solar incidente (ROC) e de radiação atmosférica (ROL) do CNR4 da torre meteorológica (TM) e da PF foram coletados no período de 11 a 14/07/2015. Regressão linear foi utilizada para comparar as duas séries (546 observações de ROC e 993 de ROL), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Relação entre a radiação de onda curta incidente (ROC) entre o saldo radiômetro CNR4 da torre meteorológica e o da plataforma flutuante (A) e relação entre ambos os instrumentos para radiação de onda longa incidente (ROL) (B).



A série de radiação atmosférica é maior já que inclui dados noturnos. Em ambos os casos (ROC e ROL) o grau de concordância entre os dois instrumentos foi excelente ($r^2 > 0,99$). O erro padrão da estimativa (SEE) foi $12,56 \text{ W m}^{-2}$ para ROC (3,5% do ROC médio) e $1,84 \text{ W m}^{-2}$ para ROL (0,5% do ROL médio). O coeficiente angular α da reta ($\text{CNR4_TM} = \alpha \cdot \text{CNR4_PF}$) foi 0,9935 e 1,0015 para radiação de onda curta e onda longa, respectivamente.

A velocidade média do vento no período de medições foi $2,3 \text{ m s}^{-1}$ a 3 m de altura. Em 78% do total de observações ($N = 993$) a velocidade do vento foi superior a 3 m s^{-1} , com valor máximo de $9,5 \text{ m s}^{-1}$.

O ventou soprou predominantemente do setor sudeste. Em plataformas flutuantes o vento pode ser

a principal causa de dispersão em dados de radiação solar medida, pois a ação mecânica do vento pode provocar alterações no nivelamento do sensor.

Os indicadores estatísticos apresentados sugerem que eventuais interferências do vento nas medições de radiação de onda curta foi compensada pela adequada ancoragem da plataforma.

3. Descrição dos custos

Os custos com material de consumo e serviços de pessoa jurídica para construção da PF totalizaram R\$ 1.750,00 (US\$ 475.00, sendo US\$ 1,00 = R\$ 3,70). Este custo é inferior ao preço de aquisição de plataformas com a mesma capacidade de carga de equipamentos do protótipo apresentado neste estudo.

Os custos com a plataforma podem ser maiores dependendo das dimensões e estrutura de suporte para equipamentos e transmissão dos dados por telemetria.

CONCLUSÕES

Em vista do apresentado conclui-se que a plataforma flutuante aqui descrita atende a demanda para coleta de dados atmosféricos e limnológicos de longo prazo em lagos e reservatórios de diferentes tamanhos, por combinar características desejáveis como custo baixo, durabilidade, fluabilidade e rigor científico.

O grau de concordância entre os saldo radiômetros foi excelente, com coeficiente de determinação superior a 0,99, para os dados de radiação solar incidente e de radiação atmosférica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB pela concessão das bolsas de Mestrado e Doutorado.

Aos técnicos da Fazenda Santo Antônio, propriedade da empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda, pela disponibilidade do local para desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.; NOVO, E.; STECH, J.; LORENZETTI, J.; BARBOSA, C.; ASSIREU, A.; SOUZA, A. A contribution to understanding the turbidity behavior in an Amazon floodplain. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 2, p. 351-364, 2010.

ALCÂNTARA, E. H. DE; STECH, J. L. Desenvolvimento de modelo conceitual termodinâmico para o reservatório hidrelétrico de Itumbiara baseado em dados de satélite e telemétricos. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 157-179, 2011.

ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.; OGASHAWARA, I.; STECH, J.; SOUZA, A. Long-term environmental time series of continuously collected data in hydroelectric reservoirs in Brazil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 6-17, 2013.

ARMANI, F. A. S.; DIAS, N. L. C.; CRIVELLARO, B. L.; CHOR, T. L. G. Fluxos turbulentos de dióxido de carbono sobre o reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu-PR. **Ciência e Natura**, Edição Esp., v. 35, p. 128-132, 2013.

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A. Estimativa da evaporação no lago usando uma estação meteorológica flutuante. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-ABRH**, São Paulo, 2007. Anais...São Paulo, 2007. CD-ROM

CARDOSO, D. H.; DOURADO, M. Modelagem unidimensional da camada limite oceânica durante a passagem de uma frente fria na região da confluência Brasil-Malvinas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.3, p. 367-378, 2014.

- HEISKANEN, J. J.; MAMMARELLA, I.; HAAPANALA, S.; PUMPANEN, J.; VESALA, T.; MACINTYRE, S.; OJALA, A. Effects of cooling and internal wave motions on gas transfer coefficients in a boreal lake. **Tellus B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 66 (22827), 2014.
- KOBERG, G. E. Effect on evaporation of releases from reservoirs on Salt River, Arizona. **International Association of Scientific Hydrology Bulletin**, v. 5, n. 3, p. 37-44, 1960, doi: 10.1080/0262666009493178.
- NORDBO, A.; LAUNIAINEN, S.; MAMMARELLA, I.; LEPPÄRANTA, M.; HUOTARI, J.; OJALA, A.; VESALA, T. Long-term energy flux measurements and energy balance over a small boreal lake using eddy covariance technique. **Journal of Geophysics Research**, v. 116 (D02119), 2011, doi: 10.1029/2010JD014542.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2a. ed. London: Routledge, 1995, 435p.
- ROQUE, R. O.; SANSIGOLO, C. A. Estimativas de evaporação do lago Taquaruçu, SP pelo modelo conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n.1, p.21-28, 2001.
- SPENCE, C. Energy budget processes of a small northern lake. **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, n. 4, p. 694-701, 2003.
- STECH, J. L.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M.; SILVA, C. M.; ASSIREU, A. T.; LORENZZETTI, J. A. CARVALHO, J. C.; BARBOSA, C. C. ROSA, R. R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verhandlungen Internationalen Verein Limnologie**, v. 29, p. 747-1750, 2006.
- STEVENSON, M. R., LORENZZETTI, J. A., STECH, J. L.; ARLINO, P. R. A. SIMA – An integrated environmental monitoring system. In: **VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, Brazil. Anais... 4: 300-310, 1993.
- VALE, R.; SANTANA, R.; TOTA, J.; LIMA, N. Medições in situ da concentração de CO₂ em um reservatório tropical usando o LI7500A e uma bóia meteorológica. **Ciência e Natura**, Edição Esp., v. 35, p. 452-456, 2013.
- VESALA, T.; HUOTARI, J.; RANNIK, U.; SUNI, T.; SMOLANDER, S.; SOGACHEV, A.; LAUNIAINEN, S.; OJALA, A. Eddy covariance measurements of carbon exchange and latent and sensible heat fluxes over a boreal lake for a full open-water period. **Journal of Geophysical Research**, v. 111 (D11101), 2006, doi: 10.1020/2005JD006365.