

GEESVERDE — MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE FLUXOS DE GASES
DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO PARA O RESERVATÓRIO
DO RIO VERDE, PR
PROPOSTA PARA O EDITAL UNIVERSAL CNPQ Nº 14/2014
FAIXA C

Nelson Luís Dias



Lemma — Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental
Departamento de Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Paraná
<http://www.lemma.ufpr.br>

25 de janeiro de 2017

Resumo

Propõe-se a realização de medições detalhadas dos fluxos de CO₂ e CH₄ através da interface água-ar em um pequeno reservatório sub-tropical (Reservatório do Rio Verde) situado nos Municípios de Campo Largo, Araucária e Balsa Nova (PR). Os fluxos serão medidos com 2 métodos, Método de Covariâncias Turbulentas e Câmaras Flutuantes, que serão comparados. Serão realizadas medições detalhadas nas sub-camadas interfaciais na água e no ar, para o desenvolvimento e teste de modelos de transporte turbulento nessas regiões, e para auxiliar a parametrização dos coeficientes de transferência. Em particular, estudaremos o efeito que medições de concentração de CO₂ um pouco abaixo da superfície, devido ao tamanho dos sensoers, produz sobre os coeficientes de transferência. Além disso, será verificada a aplicabilidade das teorias clássicas para esses coeficientes em função do tamanho do lago e de eventuais efeitos de advecção. Esses efeitos serão estudados com análises estatísticas detalhadas dos registros medidos de flutuações turbulentas de velocidade, temperatura, umidade e concentração de CO₂ e de CH₄.

Abstract

A study is proposed for detailed measurement of CO_2 and CH_4 fluxes across the water-air interface, at a small subtropical reservoir (Rio Verde), in the Campo Largo, Araucária and Balsa Nova counties, Paraná State, Brazil. The fluxes will be measured with two methods: the eddy covariance method, and the floating chamber method. Detailed measurements of the interfacial sublayers in the water and in the air will be made simultaneously, in order to develop and test turbulent transport models for these regions. In particular, we will study the effect of measuring CO_2 concentrations somewhat below the surface due to sensor size limitations. Moreover, the applicability of the classical mass-transfer theories will be tested taking into account the possibility of advection effects over the small water surface. These limitations will be assessed by means of detailed statistical analyses of the turbulent traces of velocity, temperature, humidity and CO_2 and CH_4 concentrations.

1 Identificação da proposta

Título:	GEESVERDE – Métodos de medição de fluxos de gases de efeito estufa: estudo de caso para o reservatório do Rio Verde, PR.
Proponente:	Nelson Luís da Costa Dias, Professor Associado IV.
Filiação:	Lemma (Laboratórios de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
Chamada:	Edital Universal CNPq 14/2014 Faixa C.

2 Qualificação do principal problema a ser abordado

Reservatórios artificiais para diversos usos são uma elemento central da infra-estrutura moderna de qualquer país. No Brasil, eles existem em grande número, sendo construídos e operados para geração de energia, abastecimento de água, controle de enchentes, etc..

A resposta física e bioquímica desses reservatórios a forçantes tais como cargas orgânicas e inorgânicas afluentes, vazões afluentes, e condições meteorológicas sobre o lago, permanecem motivo de investigação, devido à complexidade dos fenômenos envolvidos. Apesar dos inegáveis avanços na modelagem tanto dos aspectos físicos (balanço hídrico, balanço de energia, etc.) e bioquímicos (balanços dos principais grupos de substâncias dissolvidas na água, e reações bioquímicas que ocorrem na água de reservatórios), a sua compreensão depende fortemente de estudos de campo que permitam melhorar nossas estratégias de modelagem, aperfeiçoar as próprias medições, e em última análise realizar progressos na compreensão da interação entre os reservatórios e atmosfera. Medições não rotineiras e detalhadas de cada um desses processos são uma ferramenta essencial neste sentido. Um exemplo dos benefícios desta abordagem pode ser encontrado em [Cunha et al. \(2011\)](#).

Na presente proposta, nós pretendemos estudar especificamente os processos de transferência turbulenta, na água e na atmosfera, dos gases de efeito estufa (GEE) CH_4 e CO_2 , entre a massa líquida de um reservatório de abastecimento de água doméstico e industrial (o Reservatório do Rio Verde, PR, cuja área é de 6km^2) e a atmosfera.

A quantificação desses fluxos é um tema importante de pesquisa: a real contribuição de reservatórios para a emissão de GEE permanece motivo de controvérsias. Estimativas teóricas muitas vezes não correspondem às medições em campo ([Rosa et al., 2003](#)) e medições de emissões com diferentes métodos fornecem resultados diferentes ([Duchemin et al., 1999](#)). Revisões recentes mostram claramente que ainda não há consenso sobre os valores dos fluxos de GEE entre as superfícies líquidas e a atmosfera ([Mendonça et al., 2012](#)). Neste sentido, a precisão e limitações que condicionam a aplicabilidade dos métodos de medição de fluxos devem ser objeto de pesquisa, bem como sua comparação.

Ao mesmo tempo, tais estimativas passaram a fazer parte da avaliação global de impacto de reservatórios, principalmente de usinas hidrelétricas, em termos de emissão equivalente de CO_2 por MW instalado, ou gerado ([Ometto et al., 2013](#)). Tais estimativas de impacto tendem a se tornar parte da análise global da construção de novos reservatórios, e também das negociações globais de redução das emissões nacionais de GEE.

Com o objetivo de produzir avanços substanciais para a compreensão desse problema, nesta proposta nós estudaremos em detalhe a física do transporte turbulento de CH_4 e do CO_2 da água para a atmosfera (ou vice-versa) através da interface água-ar, e aumentaremos a capacitação para a realização dos fluxos correspondentes. Os principais pontos a serem abordados incluem:

1. Efeitos de advecção sobre os fluxos medidos, e sobre a validade das hipóteses da Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov, para aplicação dos modelos usuais de transferência. Esses efeitos serão avaliados a partir da análise da similaridade entre temperatura, H_2O , CO_2 e CH_4 (Cancelli et al., 2012), todos os quais serão medidos em alta frequência sobre o lago.
2. Importância dos níveis de medição de temperatura e concentração de CO_2 na água sobre os coeficientes de transferência, e adequação de diversas teorias da sub-camada interfacial aquática sobre os mesmos.
3. Comparação das medições de fluxo com o método de covariâncias turbulentas e com o método de câmaras flutuantes, com a obtenção de diretrizes para o melhor uso de ambos os métodos na estimativa dos fluxos água-ar. Este estudo serve de subsídio para a correção dos fluxos estimados por meio da câmara de acordo com o método desenvolvido por Mannich (2013).

3 Objetivos e metas a serem alcançados

Os objetivos gerais desta proposta são o estudo da física e dos métodos de medição dos fluxos turbulentos de CO_2 e CH_4 nas camadas interfaciais da água e da atmosfera, e na camada superficial, no Reservatório do Rio Verde.

São objetivos específicos:

1. A implantação de uma estação micrometeorológica no Reservatório do Verde, a capacitação de alunos de graduação e de pós-graduação neste tipo de medição, a extensão da capacidade do Lemma de medição de fluxos para a medição de fluxos de CH_4 com um sensor de caminho aberto, a ser adquirido com os recursos da presente proposta. Na estação micrometeorológica, serão medidas, em alta frequência (20 Hz, estatísticas de 10 minutos guardadas) (os instrumentos a serem utilizados são dados entre parênteses):
 - a) 3 componentes da velocidade do vento, u , v , w (CSI CSAT-3);
 - b) temperatura sônica T_s (CSI CSAT-3);
 - c) temperatura do ar T_a (CSI FWTC-3);
 - d) densidade de vapor d'água e densidade de CO_3 (LiCor 7500);
 - e) densidade de CH_4 (LiCor 7700);

O anemômetro sônico tridimensional CSAT-3 e o analisador de gases de caminho aberto LI-7500 são instrumentos já existentes no laboratório do proponente (Lemma).

O analisador de gases de caminho aberto LI-7700 será adquirido com recursos solicitados na presente proposta. Os dados brutos serão guardados por segurança em arquivos a cada 10 minutos. O procedimento de coleta de dados a ser utilizado (Vissotto Jr. et al., 2013) permite o cálculo *a posteriori* de estatísticas sobre qualquer intervalo de tempo desejado, sendo comuns estatísticas sobre períodos entre 10 e 60 minutos.

2. A realização de medições de fluxos com câmaras, em modo de campanha, simultaneamente com as medições utilizando o método de covariâncias turbulentas, para comparação dos resultados.
3. A instalação de medições meteorológicas auxiliares em “baixa frequência”(0.1 Hz, médias de 10 minutos guardadas):
 - a) Temperatura do ar e umidade relativa do ar;
 - b) Radiação solar incidente;
 - c) Pressão atmosférica;
 - d) Precipitação;
 - e) Concentração de CO₂ em dois níveis;
 - f) Havendo recursos de outras fontes, radiação fotossinteticamente ativa.

O laboratório do proponente já possui todos os equipamentos necessários para as medições acima, com exceção do sensor de radiação fotossinteticamente ativa. Colaborações com outros laboratórios da UFPR e possivelmente com outros grupos de micrometeorológica no país deverão permitir a instalação do sensor para essa última variável.

4. A implantação de medições simultâneas, superficiais e sub-superficiais de temperatura e de concentração de CO₂ na água. Novamente, todos os sensores necessários para a realização dessas medições já existem no laboratório do proponente.
5. A realização dos estudos e análises descritos no final da seção 2, acima.

4 Metodologia

Medições contínuas de fluxos turbulentos na superfície do lago

Os fluxos turbulentos de momentum (τ), calor sensível (H), calor latente (LE), massa de CO₂ (F_{CO_2}) e massa de CH₄ (F_{CH_4}) serão medidos de forma contínua com o método de covariâncias turbulentas. Medições de longo prazo vêm sendo realizadas com sucesso, em condições similares, pela equipe de pesquisadores desta proposta (Armani et al., 2013). A partir do período de instalação e aquisição dos equipamentos, pretende-se realizar medições continuamente durante o maior período possível, a menos de interrupções inevitáveis para manutenção.

As medições de LE realizadas nesse projeto também serão utilizadas para enriquecer a base de dados hidrológicos dos projetos de pesquisas “Critérios de Escolha para Localização de Captação Subsuperficial em Rios”, (aprovado pela Fundação Araucária: R\$

36.164,00) e o “Implantação de uma rede de monitoramento hidrológico e micrometeorológico na bacia do Rio Verde” (FUNPAR: R\$ 180.000,00) coordenados por C. L. N. Cunha, participante desta proposta. Essas medições contribuirão para a realização de balanços hídricos detalhados para o reservatório. Da mesma forma, além de LE , as medições de τ e H contribuirão para o aperfeiçoamento dos modelos de estimativa de perfis de temperatura do lago (Cancelli, 2006; ?). As medições de LE realizadas nesse projeto também serão utilizadas para enriquecer a base de dados hidrológicos dos projeto de pesquisas “Critérios de Escolha para Localização de Captação Subsuperficial em Rios”, (aprovado pela Fundação Araucária: R\$ 36.164,00) e o “Implantação de uma rede de monitoramento hidrológico e micrometeorológico na bacia do Rio Verde” (FUNPAR: R\$ 180.000,00) coordenados por C. L. N. Cunha, participante desta proposta. Essas medições contribuirão para a realização de balanços hídricos detalhados para o reservatório. Da mesma forma, além de LE , as medições de τ e H contribuirão para o aperfeiçoamento dos modelos de estimativa de perfis de temperatura do lago (Cancelli, 2006; ?).

Medições com câmaras; comparações

Fluxos de CO_2 e de CH_4 com câmaras flutuantes também serão realizados, embora em frequência muito menor, por necessitarem de equipes dedicadas trabalhando no local durante todo o período de medição. A câmara utilizada e as condições de medição seguirão as orientações destacadas por Mannich (2013) para garantir melhor representatividade das medições.

Preveremos a realização de pelo menos duas campanhas com medições durante preferivelmente as 24 horas do dia com o objetivo de cobrir o maior número possível de condições de estabilidade atmosférica, disponibilidade ou não de radiação solar para fotossíntese, etc.

Comparações entre medições de fluxos de gases de efeito estufa utilizando os dois métodos (Medição de covariâncias turbulentas *versus* câmaras flutuantes são raras (ver, por exemplo, Guérin et al. (2007)), e desconhecidas para reservatórios de clima sub-tropical. Essas comparações, em si, são de grande importância para a compreensão dos pontos fortes e fracos de ambos os métodos e de como eles podem se complementar.

Similaridade de escalares e efeitos de advecção

Um dos itens importantes a serem avaliados neste projeto é a validade das fórmulas clássicas da Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov (TSMO) (Obukhov, 1946) em pequenos reservatórios. As dimensões do reservatório do Verde sugerem a sua aplicabilidade para pistas de vento sobre as principais direções existentes no lago. Entretanto, um corpo razoável de evidências, tanto de observações em campo quanto de simulações em computador, vem sugerindo que os efeitos de advecção local podem ser significativos sobre distâncias maiores do que se acreditava anteriormente (Li et al., 2012; Cancelli, 2013).

O proponente e seus colaboradores têm desenvolvido métodos de análise de similaridade e de aplicabilidade da TSMO (Dias e Brutsaert, 1996; Cancelli et al., 2012, 2014). Esses métodos são de aplicação relativamente simples a partir de dados brutos de turbulência tais como os que serão medidos no contexto desta proposta, envolvendo análises no domínio do tempo e da frequência de índices de similaridade tais como espectros cru-

zados, funções de coerência e de correlação espectral, e dos índices “eficiência relativa de transporte” e “eficiência simétrica de transporte” (Cancelli et al., 2012).

Essas análises permitirão identificar até que ponto os fluxos no reservatório do Verde podem ser modelados em termos das funções clássicas de estabilidade de Monin-Obukhov, ou se há necessidade de formulações *ad-hoc* que levem em conta as especificidades de um reservatório relativamente pequeno.

Coefficientes de transferência água-ar: camada interfacial aquática

O fluxo de um escalar entre uma porção da superfície terrestre e a atmosfera é frequentemente parametrizado em termos de coeficientes de transferência de massa. Se F é o fluxo de massa do escalar, a definição do coeficiente de transferência C_f é

$$F \equiv \bar{\rho} u_* c_* \equiv \bar{\rho} \bar{u}_b C_f (\bar{c}_0 - \bar{c}_a). \quad (1)$$

Em (1), $\bar{\rho}$ é a densidade média ou massa específica média, do ar; u_* é a velocidade de atrito; c_* é a escala turbulenta da concentração do escalar; \bar{u}_b é a velocidade média do vento na altura z_b ; C_f é o coeficiente de transferência de massa para o escalar entre a superfície (em $z = 0$) e a atmosfera; \bar{c}_0 é a concentração mássica média do escalar imediatamente acima da superfície; e \bar{c}_a é a concentração mássica média do escalar na altura z_a .

Um coeficiente de arrasto C_d pode ser definido de forma análoga por

$$\tau \equiv \bar{\rho} u_*^2 = \bar{\rho} C_d \bar{u}_b^2. \quad (2)$$

Para superfícies com elementos de rugosidade rígidos, existe uma teoria bem estabelecida para o cálculo de C_d e C_f em termos de rugosidades para *momentum* e para o escalar, e da Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov (MOST): veja Brutsaert (1965, 1975b,a) e o artigo de revisão de Dias (2013).

Nossa principal preocupação aqui é com a transferência de um escalar através de superfícies líquidas, principalmente lagos. Para essas superfícies, não é muito difícil medir a temperatura superficial da água com termômetros flutuantes ou infravermelhos, com resultados razoavelmente bons. Isso significa que tanto a temperatura da superfície \bar{T}_0 quanto a umidade específica superficial \bar{q}_0 médias podem ser obtidas com relativa facilidade, a segunda a partir da primeira via a curva de pressão de saturação de vapor d’água. Modelos para o cálculo de C_d e C_f para superfícies líquidas também existem: ver (Brutsaert, 1982, seção 5.1.b).

Para outros escalares, tais como CO_2 e CH_4 , entretanto, concentrações superficiais realmente representativas são consideravelmente mais difíceis de se obter: analisadores e amostradores para esses gases são volumosos (da ordem de 10 cm ou maiores), e *portanto não podem medir, na prática, concentrações estritamente superficiais*. Consequentemente, na realidade concentrações do gás na água são geralmente medidas a algumas dezenas de centímetros de profundidade, e às vezes muito mais fundo. A lei de Henry é então aplicada para converter essas concentrações para concentrações equivalentes na atmosfera; e somente então uma equação de transferência do tipo (1) é aplicada, levando em conta ou não a real profundidade de medição na água.

É fundamental que se desenvolvam procedimentos objetivos que possam levar em consideração a real profundidade de medição da concentração do escalar na água.

Modelos deste tipo envolvem necessariamente teorias para as sub-camadas interfaciais existentes na água e no ar. Tais teorias estendem os conceitos originais de transferência através de interfaces, tais como os propostos por Lewis e Whitman (1924) e Danckwerts (1951). É sabido que diferenças de temperatura entre a superfície e o corpo de água abaixo são importantes nos processos de transferência de calor sensível entre corpos d'água e a atmosfera (Wick et al., 1996; Castro et al., 2003). No presente trabalho, pretendemos aprofundar a compreensão dos efeitos similares introduzidos por medições na prática sub-superficiais de concentração de CO₂ e de CH₄, conforme mencionado acima.

5 Principais contribuições científicas ou tecnológicas da proposta

A presente proposta permitirá a realização de um experimento de campo de longa duração (pelo menos 1 ano de medições contínuas, apoiadas por campanhas limnológicas e de medições mais específicas com câmaras flutuantes) em um reservatório sobre o qual já existe um grande volume de informações cuidadosamente medidas e excelente infra-estrutura em funcionamento de monitoramento meteorológico, hidrológico e limnológico (Cunha et al., 2011).

Os recursos provenientes da presente proposta estenderão o monitoramento com uma estação micrometeorológica dedicada à medição de fluxos turbulentos superficiais, sobre a água, de *momentum*, calor sensível, calor latente, CO₂ e CH₄.

As comparações previstas entre métodos distintos, mas igualmente aceitos na literatura, de medição de fluxos de gases de efeito estufa proporcionarão uma oportunidade rara para esse tipo de avaliação em um lago subtropical de pequenas dimensões: esta é uma situação, tanto quanto seja de nosso conhecimento, ainda não encontrada na literatura, em que pese a experiência da equipe desta proposta grupo com ambos os métodos (porém separadamente) em lagos na mesma faixa de latitudes (Bleninger et al., 2010; Männich et al., 2011; Mannich, 2013; Dias et al., 2013; Armani et al., 2013).

Estudos sobre a validade das teorias clássicas de parametrização de coeficientes de transferência em condições de campo para pequenos reservatórios são raros, apesar de alguns casos clássicos bem conhecidos, na caso de evaporação (Brutsaert e Yeh, 1970; Yeh e Brutsaert, 1971). Novamente, o estudo proposto questão permitirá reavaliar essa validade com dados extremamente completos, e utilizando novas técnicas de análise de similaridade de escalares e de validade da aplicabilidade da TSMO desenvolvidas na literatura, inclusive por membros da equipe proponente.

A parametrização dos coeficientes de transferência de massa água-atmosfera de diversos escalares é um assunto que apresenta grande variabilidade na literatura. Numerosas dessas parametrizações ainda são extremamente empíricas, não incorporando o conhecimento adquirido sobre as camadas interfaciais, e muitas vezes não sendo formulados em termos de funções e parâmetros adimensionais, assim como previsto para todas as funções que representam fenômenos físicos na Natureza (Barenblatt, 1996). Nossa proposta permitirá aprofundar o conhecimento sobre o assunto estendendo a teoria desenvolvida por W. Brutsaert para a sub-camada atmosférica rugosa (Brutsaert, 1975b,a) para a sub-camada interfacial aquática. Tal extensão permitirá a formulação racional de coeficientes de transferência em termos do que já se conhece sobre o tema, envolvendo a TSMO e

também em termos de novos parâmetros adimensionais para a sub-camada interfacial aquática, que até hoje tem sido muito pouco estudada.

Esta proposta apoiará parcialmente o desenvolvimento de 2 teses de doutorado em orientação pelo proponente, uma nova proposta de tese de doutorado sobre o tema em preparação 2 dissertações de mestrado em orientação por Cynara Cunha e um Trabalho de conclusão de curso e uma dissertação de mestrado em orientação por Michael Mannich.

Além disso, proporcionará o desenvolvimento de uma nova iniciação científica e uma atividade de apoio técnico, com os recursos aqui solicitados.

6 Orçamento detalhado

Os custos desta proposta são relativamente simples, uma vez que a equipe de proponentes possui boa contrapartida em equipamentos já existentes, conforme detalhado na seção 3. Os custos concentram-se na aquisição de um analisador de gás de caminho aberto LI7700; um datalogger CR3000 para a aquisição dos dados do experimento; e em despesas com pessoa jurídica (prestação de serviços) para a construção de uma plataforma permanente no meio do lago do Reservatório do Verde.

É conveniente justificar este último ponto: a plataforma será instalada sobre uma base de troncos secos semi-submersos que existem no meio do lago. O serviço em questão, de carpintaria, envolverá a poda de alguns galhos secos e a fixação sobre os troncos de uma plataforma de madeira de aproximadamente $2,5 \times 2,5\text{m}^2$ sobre a qual, posteriormente, serão instalados os instrumentos de medição micrometeorológica.

Esta plataforma *não configura material permanente*: trata-se de uma pequena estrutura, provisória, para a realização do experimento, sendo sua durabilidade estimada em pouco mais do que o tempo de duração do experimento.

A tabela abaixo detalha os custos.

Item de orçamento	Custo (US\$)	Custo (R\$)
LI7700	39595	103818.09
CR3000	3000	7866
Plataforma de medição	–	8000
Total em R\$		119684.09

7 Cronograma

Atividades↓	Bimestres→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisão bibliográfica e detalhamento da metodologia.		■											
Treinamento de bolsista IC e AT		■											
Treinamento de bolsista IC e AT					■								
Treinamento de bolsista IC e AT									■				
Instalação e início de operação de estação μ met		■											
Medições micrometeorológicas					■								
Campanha intensiva (câmaras, etc.)						■							
Campanha intensiva (câmaras, etc.)								■					
Campanha intensiva (câmaras, etc.)										■			
Modelos de transferência interfacial		■											
Processamento de dados					■								
Redação de artigos e relatórios, divulgação em congressos científicos								■					

8 Identificação dos participantes do projeto

Nome	Titulação	cpf	Função	CV Lattes
Nelson Luís da Costa Dias	PhD	69183961704	Coordenador; Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/5149356080083086
Cynara de Loures da Nóbrega Cunha	DSc	25400827268	Pesquisadora	http://lattes.cnpq.br/8473977819453144
Michael Manich	DSc	04755998964	Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/0160328557166941
Dornelles Vissotto Jr.	MSc	02517200980	Aluno de doutorado	http://lattes.cnpq.br/3329904381084143
Bruno Solheid	MSc	05345602964	Aluno de Doutorado	http://lattes.cnpq.br/5474365043690974
Fernando Armani	MSc*	34139835800	Aluno de doutorado (futuro)	http://lattes.cnpq.br/4870174841725558
Bolsista IC	Médio	–	Bolsista IC	
Bolsista AT	Médio	–	Bolsista AT	

* Em conclusão na data da proposta.

9 Grau de interesse e comprometimento de empresas com o escopo da proposta, quando for o caso

O Reservatório do Verde faz parte do sistema SANEPAR de abastecimento de água, e abastece principalmente a REPAR (PETROBRAS). Embora não haja comprometimento formal dessas empresas na presente proposta, ele foi alvo de um estudo aprofundado apoiado por ambas (Cunha et al., 2011). Estudos realizados no Reservatório do Verde permanecem atraindo a atenção dessas empresas e dos órgãos de gestão de recursos hídricos estaduais, devido à sua importância para o abastecimento doméstico e industrial de água na região.

10 Indicação de colaborações ou parcerias já estabelecidas com outros centros de pesquisa na área

Os proponentes já participaram ativamente em projetos da mesma natureza envolvendo centros de pesquisa e universidades (FURNAS, CEPEL, INPE, COPPE, UFJF, IEGA, Lactec e Apine) em projetos estratégicos da ANEEL. Destacamos abaixo projetos em que os proponentes realizaram medições e análises similares às que estão sendo propostas aqui.

ELGEE (2011–2013): Medição de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas. Em colaboração com CEPEL, INPE, COPPE, UFJF, IEGA.

Delta-F (2002–2005): Estudos de Evaporação e Evapotranspiração no Reservatório de Furnas. Em cooperação com FURNAS Centrais Elétricas.

GoAmazon (atual): “Bridging land-surface fluxes and aerosol concentrations to triggering convective rainfall”. Membro da equipe do projeto conjunto Brasil-Estados Unidos. Em cooperação com o INPE, UFSM

(Universidade Federal de Santa Maria), UEA (Universidade Estadual do Amazonas), INPA e PSU (Pennsylvania State University).

Atto (atual): “Amazon Tall Tower Observatory”. Em cooperação com o INPA, UEA (Universidade Estadual do Amazonas) e o Max Planck Institute for Chemistry (Alemanha).

11 Disponibilidade efetiva de infra-estrutura e de apoio técnico para o desenvolvimento do projeto

Esta proposta terá a participação do Lemma (Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental: http://www.lemma.ufpr.br/wiki/index.php/Página_principal) do Departamento de Engenharia Ambiental da UFPR.

O Lemma possui veículo próprio (Uma caminhonete Nissan Frontier 4x4), e um laboratório de monitoramento ambiental com equipamentos micrometeorológicos, hidrológicos, e de qualidade do ar.

O Lemma possui lancha com motor de popa para deslocamento das equipes no lago e realização de medições na água.

A equipe do Lemma possui grande experiência em medições micrometeorológicas em lagos, incluindo experiência com a operação de anemômetros sônicos e analisadores de gases de diversos tipos, e no desenvolvimento de sensores auxiliares tais como analisadores de vapor d’água de baixo custo adaptados para medições de flutuações de umidade (DIAS et al., 2007) e sistemas dedicados de aquisição de dados em alta frequência (VISSOTTO et al., 2013).

12 Estimativa dos recursos financeiros de outras fontes que serão aportados pelos eventuais Agentes Públicos e Privados parceiros.

Esta proposta, se aprovada, será realizada em conjunto com os projetos de pesquisa “Critérios de Escolha para Localização de Captação Subsuperficial em Rios”, (aprovado pela Fundação Araucária: R\$ 36.164,00) e o “Implantação de uma rede de monitoramento hidrológico e micrometeorológico na bacia do Rio Verde” (FUNPAR: R\$ 180.000,00) coordenados por C. L. N. Cunha. Ambos os projetos prevêem significativo aporte de recursos para o monitoramento da bacia do Rio Verde e do reservatório, incluindo monitoramento hidrológico, limnológico e de qualidade da água.

Referências

Armani, F. A. S., Dias, N. L., Crivellaro, B. L., e Chor, T. L. G. (2013). Fluxos turbulentos de dióxido de carbono sobre o reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu – PR. *Ciência e Natura*, Volume Especial:128–132.

Barenblatt, G. I. (1996). *Scaling, self-similarity and intermediate asymptotics*. Cambridge University Press.

- Bleninger, T., Froehner, S., Mannich, M., Fernandes, C. V. S., Fuchs, S., Morck, T., e G., K. H. (2010). Preliminary Field Measurements in a Subtropical Reservoir to Determine Green House Gas Emissions. Em *The Meeting of the Americas, Foz do Iguaçu, Brasil*.
- Brutsaert, W. (1965). A Model for Evaporation as a Molecular Diffusion Process into a Turbulent Atmosphere. *J. of Geophys. Res.*, 70:5017–5024.
- Brutsaert, W. (1975a). The roughness length for water vapor, sensible heat and other scalars. *J. Atmos. Sci.*, 32:2028–2031.
- Brutsaert, W. (1975b). A Theory for Local Evaporation (or Heat Transfer) From Rough and Smooth Surfaces at Ground Level. *Water Resour. Res.*, 11:543–550.
- Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the atmosphere*. D. Reidel, Dordrecht. 309 pp.
- Brutsaert, W. e Yeh, G.-T. (1970). Implications of a type of empirical evaporation formula for lakes and pans. *Water Resour. Res.*, 6:1202–1209.
- Cancelli, D. M. (2006). Um modelo para a evolução térmica de lagos profundos. Tese de Mestrado, PPGMNE/Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Cancelli, D. M. (2013). *análise experimental e numérica das causas de dissimilaridade entre escalares na camada limite atmosférica*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná.
- Cancelli, D. M., Chamecki, M., e Dias, N. L. (2014). A large-eddy simulation study of scalar dissimilarity in the convective atmospheric boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 71(1):3–15.
- Cancelli, D. M., Dias, N. L., e Chamecki, M. (2012). Dimensionless criteria for the production-dissipation equilibrium of scalar fluctuations and their implications for scalar similarity. *Water Resour. Res.*, 48:W10522.
- Castro, S. L., Wick, G. A., e Emery, W. J. (2003). Further Refinements to Models for the Bulk-Skin Sea Surface Temperature Difference. *J. of Geophys. Res.*, 108:3377–3395.
- Cunha, C. L. N., Carneiro, C., Gobbi, E., e Andreoli, C. V., editores (2011). *Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva*, volume 1. Editora UFPR, Curitiba, 1ª edição.
- Danckwerts, P. V. (1951). Significance of liquid-film coefficients in gas absorption. *Industrial and Engineering Chemistry*, 43:1460–1467.
- Dias, N. L. (2013). Research on atmospheric turbulence by Wilfried Brutsaert and collaborators. *Water Resour. Res.*, 49:7169–7184.
- Dias, N. L. e Brutsaert, W. (1996). Similarity of scalars under stable conditions. *Boundary-Layer Meteorol.*, 80:355–373.
- Dias, N. L., Crivellaro, B. L., Armani, F. S., Chor, T. L., Gobbi, M. F., e Santos, A. L. (2013). Abstract B32A-03. Short-term eddy-covariance measurements of CO₂ fluxes at Itaipu Lake, Brazil. Em *Meeting of the Americas, Cancún, 2013*.

- Duchenim, E., Lucotte, E., e Canuel, R. (1999). Comparison of static and thin boundary-layer equation methods for measuring greenhouse gas emissions from large water bodies. *Environ Sci Technol*, 33:350–357.
- Guérin, F., Abril, G., Serça, D., Delon, C., Richard, R., Sandrine, R., Delmas, R., Alain, T., e Louis, V. (2007). Gas transfer velocities of CO₂ and CH₄ in a tropical reservoir and its river downstream. *Journal of Marine Systems*, 66:161–172.
- Lewis, W. K. e Whitman, W. G. (1924). Principles of Gas Transfer Absorption. *Industrial and Engineering Chemistry*, 16:1215–1237.
- Li, D., Bou-Zeid, E., e De Bruin, H. A. R. (2012). Monin-Obukhov Similarity Functions for the Structure Parameters of Temperature and Relative Humidity. *Boundary-Layer Meteorol.*, 145:45–67.
- Mannich, M. (2013). *Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em reservatórios e Lagos — Contribuições para o Monitoramento e Modelagem 1D-Vertical*. Tese, PPG-GERHA/UFPR, Curitiba.
- Mendonça, R., Barros, N., Vidal, L. O., Pacheco, F., Kosten, S., e Roland, F. (2012). *Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs: What Knowledge Do We Have and What is Lacking?*, *Greenhouse Gases — Emission, Measurement and Management*, capítulo 3. InTech. ISBN: 978-953-51-0323-3.
- Männich, M., Fernandes, C. V. S., Bleninger, T., e Mine, M. R. M. (2011). One-Dimensional Evaluation of Greenhouse Gases Emissions in a South Brazilian Reservoir. Em *2nd IWA Symposium on Lake and Reservoir Management: Sustainable Approaches to Enhance Water Quality*, Granada.
- Obukhov, A. M. (1971,1946). Turbulence in an atmosphere with non-uniform temperature. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2:7–29.
- Ometto, J. P., Cimblaris, A. C., dos Santos, M. A., Rosa, L. P., Abe, D., Tundisi, J. G., Stech, J. L., Barros, N., e Roland, F. (2013). Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. *Energy Policy*, 58(C):109–116.
- Rosa, L. P., Santos, M. A. D., Matvienko, B., Sikar, E., Lourenço, R. S. M., e Menezes, C. F. (2003). Biogenic gas production from major Amazon reservoirs, Brazil. *Hydrological Process*, 17:1443 – 1450.
- Vissotto Jr., D., Dias, N. L., Crivellaro, B. L., Armani, F. A. S., e Chor, T. (2013). Sistema autônomo de energia para monitoramento micrometeorológico. Em *Anais, VIII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, Santa Maria, RS.
- Wick, G. A., Emery, W. J., Kantha, L. W., e Schlusell, P. (1996). The Behaviour of The Bulk-Skin Sea Surface Temperature Difference under Varying wind Speed and Heat Flux. *Journal of Physical Oceanography*, 25:1969–1989. Tese DSc Bruno Solheid.
- Yeh, G.-T. e Brutsaert, W. (1971). A solution for simultaneous turbulent heat and vapor transfer between a water surface and the atmosphere. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2:64–82.