

**DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE METANO EM RESERVATÓRIO DE
HIDROELÉTRICA**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Lia Braz (Universidade de Taubaté, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: lia.braz@hotmail.com

Dr. Plínio Carlos Alvalá (CCST-INPE, Orientador)
E-mail: plinio@dge.inpe.br

Julho de 2011

RESUMO

A decomposição de matéria orgânica libera o metano (CH_4), composto com destacado papel na regulação da temperatura do planeta. Este trabalho apresenta resultados preliminares da emissão deste gás na região aonde será instalada a usina hidrelétrica de Santo Antônio, em Rondônia, projeto fomentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Duas campanhas foram realizadas como ensaio preliminar do método empregado no projeto: uma em lagoa natural, utilizada para o abastecimento do INPE de Cachoeira Paulista, e outra na Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, que é uma lagoa costeira que sofre interferências antrópicas. Em todos os lugares foram efetuadas coletas em diferentes pontos das lagoas, na jusante e montante do rio Madeira/RO. As amostras foram analisadas em laboratório por meio de análise cromatográfica. Nas lagoas as medidas de emissão de metano para a atmosfera apresentaram fluxos médios próximo de $50 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, indicando que elas são emissora deste gás com valores próximos entre elas mesmo com suas diferentes características. Já no rio Madeira, os valores dos fluxos obtidos a montante foram altos e tem valores maiores que a jusante. Uma das justificativas é a grande quantidade de sedimentos e uma quantidade pouco comum de material flutuante: galhos de árvores, folhas e mesmo grandes troncos. A deposição contínua de sedimentos carregados pelo rio, misturados a restos vegetais, constituiu uma ótima fonte para a produção de metano. E a turbulência da água também tem um papel importante na emissão de metano dos corpos d'água. Algumas variáveis que podem afetar as emissões de metano, como a pH, temperatura, oxigênio dissolvido foram medidas.

ABSTRACT

The decomposition of organic matter releases methane (CH₄) compound with outstanding role in temperature regulation the planet. This paper presents results preliminary issue in the region where this gas is installed hydroelectric power plant Santo Antônio in Rondônia, a project promoted by National Electric Energy Agency - ANEEL. Two campaigns were carried out as a preliminary test of the method employed in the project: in a natural lagoon, used to supply the INPE Cachoeira Paulista, and another at Rodrigo de Freitas Lagoon, in Rio de Janeiro, which is a coastal lagoon anthropogenic interference suffers. Everywhere collections were made at different points of the lakes, in upstream and downstream of the river Madeira / RO. Samples were analyzed in the laboratory by analysis chromatography. In lagoons emission measures methane to atmosphere had average flows near 50 mgCH₄m⁻²d⁻¹, indicating that they are this gas station were similar between them even with their different characteristics. In the Madeira River, values obtained upstream flows were high and have values greater than downstream. One of the justifications is the large amount of sediment and amount Unusual floating material: tree branches, even large leaves and trunks. The continuous deposition of sediments carried by the river, mixed with debris vegetables, was a great source for the production of methane. And the turbulence of the water also has a role important in the emission of methane from water bodies. Some variables that may affect emissions of methane, such as pH, temperature, dissolved oxygen was measures.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Potencial hidrelétrico Brasil	8
Figura 3.2 Panorama do ano 2005 da utilização de fontes renováveis para geração de energia	8
Figura 4.1 Imagem de Satélite da Lagoa do INPE – Cachoeira Paulista	10
Figura 4.2 Imagem de Satélite da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro	11
Figura 4.3 Imagem de Satélite da Localização da Usina Hidrelétrica de Santo Antonio – Porto Velho – Rondônia	12
Figura 4.4 Conjunto para coleta de ar com a câmara estática e seringa	13
Figura 4.5 Componentes básicos de um cromatógrafo a gás	14
Figura 5.1 Metano dissolvido – média x profundidade	22

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 5.1 Média, desvio padrão e faixa de variação dos parâmetros ambientais na lagoa de Cachoeira Paulista	20
Tabela 5.2 Fluxos obtidos e valores de média, desvio padrão, mediana e variação para difusivo e ebulitivo para a Lagoa Rodrigo de Freitas.	21
Tabela 5.3 Parâmetros ambientais medidos na Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ	23
Tabela 5.4 Valores médios de fluxo em cada ponto no rio Madeira e igarapés	24
Tabela 5.5 Valores médios dos parâmetros ambientais em cada ponto no rio Madeira e igarapés.	24

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E DE SÍMBOLOS

Δn_{CH_4}	Varição no número de moles de metano
$\Delta \chi_{\text{CH}_4}$	Varição da razão de mistura do metano
Φ	Fluxo
Δt	Intervalo de tempo
m_{CH_4}	Massa do metano
M_{CH_4}	Massa molar do metano
n_{CH_4}	Número de moles do metano
%	Por cento
A	Área
CH ₂ O	Formaldeído
CH ₃	Radical metil
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
d	Dia
H ₂ O	Vapor d'água
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km	Quilômetro
l	Litros
m	metro
m ²	Metro quadrado
mg	Miligrama
ml	Mililitro
mV	Milivolt
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Oxido de nitrogênio
O ₃	Ozônio

°C	Graus Celsius
OD	Oxigênio dissolvido
OH	Radical hidroxila
ORP	Potencial de oxirredução
P	Pressão total
p_i	Pressão parcial
ppbv	Partes por bilhão por volume
p_t	Pressão total
PVC	Cloreto de polivinila
R	Constante dos gases
R^2	Coefficiente de correlação
S/m	Siemens por metro
T	Temperatura
Tg	Teragramas
TSD	Total de sólidos dissolvidos
V	Volume

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Origem e processos do metano	3
3.2.1 Sumidouros	4
3.2.2 Fontes	4
3.2 Produção de metano em sistemas lênticos	5
3.3 Características da matriz energética do Brasil	7
3.4 Afogamento da Vegetação	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1 Áreas de estudo	10
4.1.1 Lagoa do INPE – Cachoeira Paulista	10
4.1.2 Lagoa Rodrigo de Freitas – Rio de Janeiro	11
4.1.3 Usina Hidrelétrica de Santo Antonio.....	11
4.2 O fluxo metano	12
4.3 Determinação das concentrações de metano	14
4.4 Determinação dos fluxos de metano	15
4.4.1 Validação dos fluxos	16
4.5 Determinação da concentração de metano dissolvido	17
4.6 Parâmetros ambientais.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1 Campanha Lagoa do INPE Cachoeira Paulista.....	20
5.2 Campanha Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ.....	21
5.2 Campanha Usina Hidrelétrica Santo Antonio – Rio Madeira.....	23
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O metano é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre. A razão de mistura atmosférica do metano duplicou desde a Revolução Industrial, estando atualmente em torno de 1800 ppbv (partes por bilhão por volume). Somente nos últimos anos as emissões desse gás cresceram em aproximadamente 1% ao ano (HOLMES, 1999 *apud* PELLIZARI et al., 2007), em função deste crescimento é importante incluir esse gás nas pesquisas sobre o aquecimento global.

Segundo o relatório do IPCC (2001), a intervenção humana sobre os processos naturais do sistema terrestre tem influenciado no seu equilíbrio térmico e conseqüentemente na estabilidade do clima planetário. Esse tipo de problema tem ganhado grande destaque nos estudos realizados em Ciência Ambiental. As emissões de gases tais como dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), chamados de gases do efeito estufa levam a alteração no balanço de radiação no sistema superfície-atmosfera, acentuando o efeito estufa natural, tornando-se as principais responsáveis por alterações climáticas.

Neste trabalho o foco será sobre o gás metano emitido a partir de corpos d'água. As emissões podem ser naturais ou antropicas. As fontes naturais são compostas por terras alagadas, colônias de cupins, animais ruminantes, oceanos e hidratos de metano. As emissões antropogênicas são provenientes da agricultura e de depósito de lixo. Devido à variedade de fontes de metano, as emissões são afetadas por vários fatores, incluindo uso de energia, distribuição populacional, práticas agrícolas e clima.

O Brasil, por utilizar prioritariamente energia produzida a partir de centrais elétricas, pode apresentar uma alta taxa de emissão de metano ocasionada pela matéria orgânica que se decompõem no fundo do reservatório.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal estudar as emissões de metano em corpos de água lânticos, em particular reservatórios hidroelétricos, bem como uma melhor caracterização da influência de variáveis que possam afetar a emissão de metano. Para atingir esse objetivo serão realizadas coletas de ar pelo método da câmara estática nos corpos de água e as amostras serão analisadas por cromatografia gasosa. Para determinação do fluxo em cada ponto de amostragem e avaliação das condições de coleta serão realizadas medições de dados complementares, tais como:

- pH;
- potencial de oxi-redução;
- condutividade elétrica;
- sólidos totais dissolvidos;
- temperatura do ar e da água ; e
- pressão atmosférica.

Será analisada a importância das variabilidades observadas e de possíveis ligações entre os fluxos de metano e as variáveis ambientais medidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O metano (CH₄) é o segundo mais importante gás do efeito estufa, sendo 21 vezes mais poderoso que o CO₂ na capacidade de reter calor. O metano é produzido pela degradação da matéria orgânica por micróbios. As maiores fontes desse gás esta ligada às atividades agropecuárias, especialmente o cultivo de arroz, e emissão de gases por gado libera quando ruma. A extração de combustíveis minerais também lança metano na atmosfera, assim como a decomposição do lixo depositado em lixões ou aterros sanitários. A concentração atmosférica de metano se manteve estável durante 650 mil anos em torno de 700 ppbv. Nos últimos cem anos aumentou aproximadamente para 1800 ppbv, um salto de 130%, atingindo níveis jamais vistos. (CARDOSO, 2006)

Dados preliminares sobre as emissões de metano no Brasil foram apresentados no inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (BRASIL, 2009). Segundo o relatório, cerca de 70% das emissões brasileiras são provenientes das atividades de agricultura e pecuária, com a criação de gado compondo a maior parte desse percentual emissor. No entanto, as áreas alagadas contribuem para que as emissões de metano à atmosfera respondam por cerca de 20% de suas emissões globais (WUEBBLES; HAYHOE, 2002). Os estudos de Melack et al. (2004) e de Marani (2007) dispõem a contribuição que a rede hidrográfica pode apresentar devido ao acúmulo de matéria orgânica e sua degradação nos trechos de baixa vazão de rios e áreas inundadas no país, sugerindo as emissões naturais de metano da ordem de 2 Tg/ano.

3.1 Origem e processos do metano

O metano liberado para a atmosfera é proveniente de varias fontes, tanto biológicas, quanto não-biológicas. Segundo Wuebbles e Hayhoe (2002) a somatória da emissão anual destas fontes está estimada entre 410 e 660 Tg

(410-660 x 10¹² gramas) de metano para a atmosfera. A grande variação do valor desta estimativa está ligado ao grande número de fontes emissoras. (SILVA, 2010)

3.2.1 Sumidouros

A remoção atmosférica de metano ocorre principalmente pela reação com radical hidroxila (OH), que é responsável pela remoção de um grande número de outros gases de efeito estufa, com força radiativa positiva maiores que a do metano, em função da sua elevada reatividade. A oxidação do metano, ou seja, a perda de elétrons, pelo OH (Equação 3.1) produz o radical metil (CH₃) que é um dos precursores na formação de formaldeído (CH₂O):



As reações envolvendo o formaldeído resultam em uma atmosfera rica em óxidos de nitrogênio e na produção de ozônio na troposfera. Além disso, a oxidação do metano na presença de óxido de nitrogênio (NO_x) produz outros gases de efeito estufa: ozônio (O₃) na troposfera e vapor d'água na estratosfera (LIMA, 2002).

O processo de oxidação depende de fatores relacionados às propriedades físicas do solo como a textura, densidade, umidade, temperatura, pH e quantidade de matéria orgânica (FEST et al., 2009; MACDONALD et al., 1998). A absorção pelos solos é outra forma de remoção do metano, sendo responsável por sua maior parte à presença de bactérias metanotróficas, que têm no metano seu único alimento (SEILER; CONRAD, 1987).

3.2.2 Fontes

O metano liberado para a atmosfera é produzido por diversas fontes, tanto biológicas como não-biológicas. A emissão de metano a partir de fontes biológicas é resultado da ação de bactérias chamadas de metanogênicas, que

decompõem matéria orgânica em meios livres de oxigênio (anaeróbias). O processo ocorre em plantações de arroz, áreas alagadas, aterros sanitários, e também no trato digestivo de ruminantes como bovinos e ovelhas, de cupins e em humanos (XIE et al., 2009; SIMPSON et al., 2006; WUEBBLES; HAYHOE, 2002).

A emissão de metano pode ser ocasionada por processos não biológicos, como o uso de combustíveis fósseis como o gás natural, o carvão e os derivados de petróleo. A ocorrência de vazamentos de gás natural no processamento, transmissão e na sua distribuição, torna-se a principal fonte de metano pelo uso de combustíveis fósseis, já que este consiste em 90% de metano. (BECK et al., 1993 apud MARANI, 2007) Segundo Simpson et al. (2006), um valor de 65-70% do carbono “moderno” existente na atmosfera é proveniente da utilização de combustíveis fósseis.

A queima de matéria orgânica e de biomassa são outras fontes responsáveis pela liberação de metano para a atmosfera, através da queima lenta do material (na forma de brasas) e a sua combustão incompleta. Este processo também produz outros hidrocarbonetos (LEVINE et al., 2000).

3.2 Produção de metano em sistemas lênticos

Por definição um ambiente lêntico se refere a água parada, com movimento lento ou estagnado. A principal característica de um sistema lêntico é a alta capacidade para solubilização de compostos orgânicos; baixo teor de sais dissolvidos; alta densidade e viscosidade da água; capacidade de sedimentação, “seiches” internos, a temperatura e radiação subaquática. O que determina a qualidade da água de um sistema lêntico é tanto os fenômenos naturais, como a ação antrópica (ESTEVES, 1998). Neste tipo de sistema três fatores são particularmente importantes na emissão de gases de efeito estufa: a quantidade de matéria orgânica na água, a profundidade e as condições climáticas (SVENSSON, 2005).

A produção de metano pela decomposição de matéria orgânica tem importante papel no ciclo local e global do carbono e representa cerca de 80% do total de metano que entra na atmosfera (MANAHAN, 1994)

A afirmação de que o uso de água represada é o processo mais limpo para a geração de energia é alvo de divergências. Mayer et al. (2007) relatam que as usinas hidrelétricas são freqüentemente promovidas pelas autoridades governamentais como uma fonte “limpa” de energia, no entanto, não estão livres dos impactos causados pelas emissões de gases de efeito estufa e a relação existente entre impactos e benefícios varia muito entre diferentes represas, dependendo de vários fatores, entre eles, profundidade localização geográfica, sistema de rios que agrega, vazão, estado da vegetação no enchimento e tempo de existência da represa.

Conforme Dachery et al.(2010), no Brasil as usinas hidrelétricas respondem por mais de cinquenta por cento da geração total de energia elétrica do país, estando em funcionamento, em torno de quatrocentas e cinquenta usinas, várias com capacidade acima de um bilhão de watts. Ou seja, o Sistema Elétrico Brasileiro caracteriza-se pelo aproveitamento do potencial hidrológico que em combinação com as características de relevo possibilitam a utilização de usinas hidrelétricas, por se utilizar prioritariamente da energia produzida a partir da água, apresenta grande potencial de geração do gás estufa metano, o que impacta fortemente no processo de aquecimento global (ELETROBRAS, 2000).

A instalação de um reservatório de hidrelétrica pode aumentar os gases do efeito estufa de duas formas distintas. A primeira está relacionada ao aumento no uso e ocupação do entorno do reservatório, ocasionando em grandes áreas de mudança do uso da terra (VALENÇA; ROSA, 1993). A segunda ocorre através dos processos internos no reservatório, de influencia direta, os quais também provocam a emissão de gases, particularmente CO₂ e CH₄ (NOVO; TUNDISI, 1994; DUCHEMIN et al., 1995).

Por outro lado, segundo Lima (2002), a emissão de metano nos reservatórios tende a diminuir com o tempo, já que se vai consumindo mo material orgânico

inundado. Salienta-se que a presença de plantas aquáticas, descarga de resíduos industriais, criação de animais e aves, entre outros, podem levar a emissão de metano.

Na construção de hidrelétricas, quando não há o corte da vegetação, a inundação das florestas faz com que a matéria orgânica encoberta entre em decomposição, provocando a liberação de metano (FEARNSIDE, 2001; LIMA, 2005). Os primeiros anos de um reservatório são marcados por uma drástica alteração do ecossistema, onde são definidos novos filtros de adaptação biogeoquímica e ocorre uma seleção da biota existente anterior ao enchimento (TUNDISI, 1986).

3.3 Características da matriz energética do Brasil

A matriz energética do Brasil é caracterizada pela predominância por energia hidráulica, isso ocorre, pois o país é o primeiro em recursos hídricos. Por outro lado não é o primeiro em geração de energia utilizando os recursos hídricos, aproveitando apenas 25% de seu potencial hidrelétrico (SILVA, 2007).

É compreendido como potencial hidrelétrico o potencial possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia. O potencial hidrelétrico inventariado abrange as usinas em operação ou construção e os aproveitamentos disponíveis estudados nos níveis de inventário, viabilidade e projeto básico (BEN,2010). A Figura 1 apresenta o potencial hidrelétrico do Brasil ao longo dos anos.

A geração de energia elétrica no Brasil tem crescido a uma taxa média anual de 4,2% ao longo dos últimos 25 anos. Durante esse tempo, ela sempre foi dominada pela hidreletricidade, responsável por mais de 80% do total gerado no país (SCHAEFFER, 2008).

O histórico de implantação de empreendimentos hidrelétricos mostra que grande parte deles foram construídos em um período que pouco se preocupava com os impactos ambientais e sociais. Nesta época, não havia discussão prévia sobre as alternativas tecnológicas de geração de energia elétrica ou

mesmo dos tamanhos e dos formatos dos lagos que seriam criados pelas grandes barragens (SCHAEFFER, 2008).

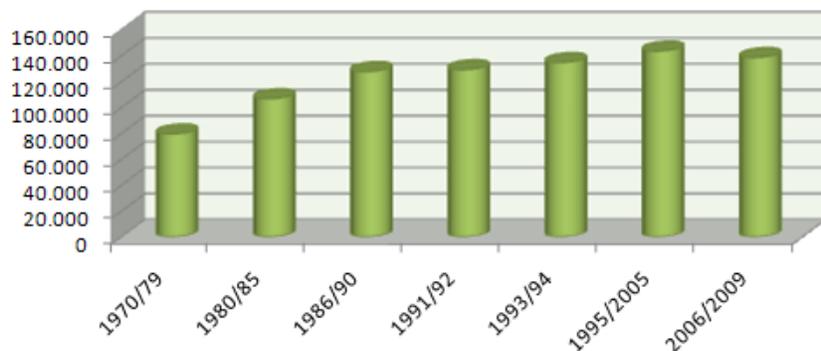


Figura 3.1 - Potencial hidrelétrico Brasil
Fonte: BEM, 2010

A energia a partir de centrais hidrelétricas é uma energia renovável, ou seja, obtida de fonte natural – rio – capazes de se regenerar. Assim também são as energias de fonte eólica, solar, biomassa. Segundo MME (2006), o Brasil possui 89,3% de sua energia elétrica de fontes renováveis, diferente do que acontece no cenário mundial, sendo apenas 17,8% da mesma. A Figura 2 apresenta um panorama da divisão das energias renováveis utilizadas no Brasil.

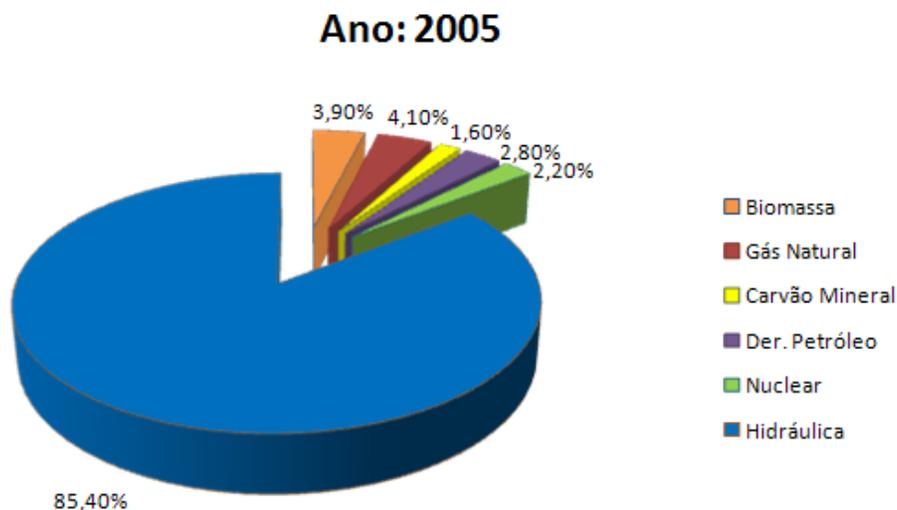


Figura 3.2 – Panorama do ano 2005 da utilização de fontes renováveis para geração de energia
Fonte adaptada de MME, 2006

3.4 Afogamento da Vegetação

Para os futuros reservatórios o melhor é uma pequena quantidade de biomassa florestal encontrada na bacia hidráulica. A matéria orgânica afogada produz alterações químicas adversas das águas. Sendo assim um fenômeno natural importante nos períodos de formação das represas (MULLER, 1996).

A decomposição biológica da matéria orgânica dos ambientes aquáticos é, portanto, um fenômeno natural muito importante nos períodos iniciais da formação dos reservatórios. O principal efeito que esse processo aciona é a depleção do oxigênio dissolvido, o OD, e em decorrência surgem uma série de alterações qualitativas de águas, como: produção de gases sulfídricos e metano; eutrofização das águas; produção acelerada de algas, gerando alteração da cor, gosto e odor (MULLER, 1996).

Esses efeitos dependem do volume de água armazenado em relação à biomassa tenra afogada. Quanto maior a disponibilidade de oxigênio dissolvido e menor a quantidade de matéria orgânica, menor o efeito (MULLER, 1996).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Áreas de estudo

A área de estudo deste trabalho é a região aonde será instalada a usina hidrelétrica de Santo Antônio, em Rondônia. Duas campanhas foram realizadas como ensaio preliminar do método: uma na Lagoa do INPE de Cachoeira Paulista, e outra na Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro.

4.1.1 Lagoa do INPE – Cachoeira Paulista

A lagoa onde foi efetuada a coleta esta localizada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais na unidade de Cachoeira Paulista, na Rodovia Presidente Dutra, km 39. As coordenadas geográficas do local são: 22°41' S e 44°59' O. Esta área foi escolhida por ser uma lagoa natural utilizada para abastecimento. A Figura 4.1 apresenta a Lagoa do INPE – Cachoeira Paulista.



Figura 4.1 - Imagem de Satélite da Lagoa do INPE – Cachoeira Paulista
Fonte: Google Earth (2011)

4.1.2 Lagoa Rodrigo de Freitas – Rio de Janeiro

Foi realizado coletas na lagoa Rodrigo de Freitas que se situa ao sul da cidade do Rio de Janeiro, entre as latitudes 22°57'02"S e 22°58'09"S e longitudes 43°11'09" e 43°13'03"W. A Figura 4.2 apresenta a imagem de Satélite da Lagoa Rodrigo de Freitas. A Lagoa Rodrigo de Freitas é uma lagoa costeira com corpos de águas continentais separadas do oceano por uma barreira natural. Ela é considerada um ecossistema de transição muito sensível que sofre diretamente com atividades humanas.

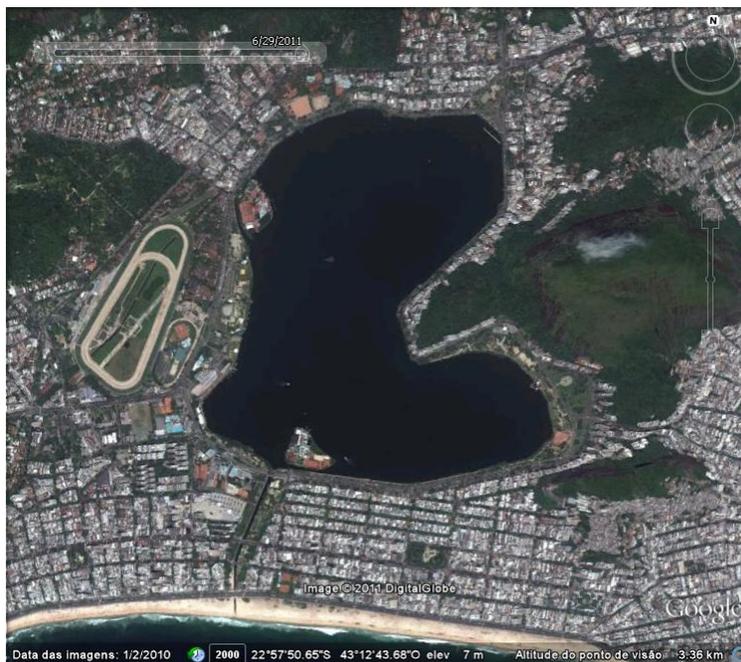


Figura 4.2 - Imagem de Satélite da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro
Fonte: Google Earth (2011)

4.1.3 Usina Hidrelétrica de Santo Antonio

A Usina Hidrelétrica Santo Antônio será instalada na cachoeira de mesmo nome que está situada no rio Madeira, a sete quilômetros de Porto Velho, capital de Rondônia, nas coordenadas 8°47'31" S e 63°57'7" W. A Figura 4.3 apresenta o Rio Madeira onde será instalada a hidrelétrica.

As águas do rio Madeira são limpas, mas invariavelmente turvas, pois transportam uma quantidade enorme de sedimentos — silte, argila e areia

estarão em suspensão em suas águas o ano todo, depositando-se em suas várzeas. Agregado a esse material haverá nutrientes que as fertilizarão. Quem observa notará também uma quantidade pouco comum de material flutuante: galhos de árvores, folhas e mesmo grandes troncos passarão sob seus olhos. O rio justificará, assim, seu nome. A deposição contínua de sedimentos carregados pelo rio, misturados a restos vegetais, constituiu, ao longo do tempo, muitas de suas várzeas e barrancos, onde afloram areias finas, silte e argila (RIMA, 2005).

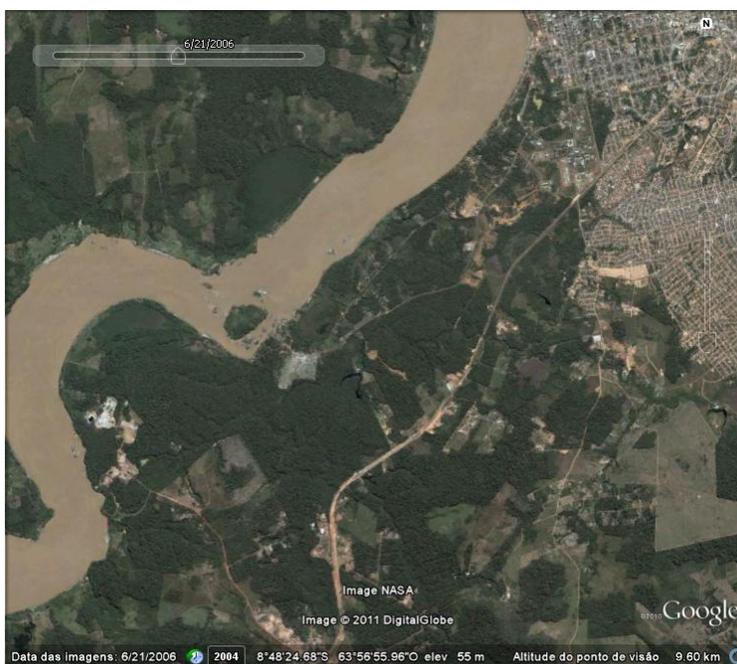


Figura 4.3 - Imagem de Satélite da Localização da Usina Hidrelétrica de Santo Antonio – Porto Velho - Rondônia
Fonte: Google Earth (2011)

4.2 O fluxo metano

O fluxo de metano foi determinado através da técnica da câmara estática, método muito utilizado nesse tipo de estudos e descrito por Khalil *et al.* (1998) e consiste na determinação do fluxo através de uma câmara fechada colocada sobre a superfície da água em um certo intervalo de tempo para coleta de amostras de ar.

Para a amostragem do metano foram utilizadas câmaras cilíndricas de PVC com volume 26 litros e flutuadores de espuma acoplados na base, para sustentação na água. A câmara foi coberta com uma manta térmica, para reduzir a variação de temperatura em seu interior e evitar grandes variações no micro-ambiente criado dentro da câmara, em relação ao ambiente externo. As amostras de ar foram coletadas por um tubo de teflon instalado à meia altura da câmara, e armazenada em uma seringa de poliuretano de 60 ml, equipada com uma torneira de três vias, com trava tipo “*luer lock*”. A seringa acoplada à câmara era bombeada algumas vezes antes da retirada da amostra de forma a evitar a estratificação do ar. Na figura 4.4 é apresentado o conjunto utilizado na coleta das amostras de ar, formado pela câmara estática de coleta com os flutuadores e a seringa. Com auxílio de um barco as câmaras são transportadas até o ponto de amostragem. Considerando que a perturbação na superfície da água, pode influenciar o resultado da amostragem, após a ancoragem do barco, era respeitado um período de 10 minutos antes de se colocar as câmaras. As amostras eram coletadas em intervalos regulares sendo a primeira no minuto inicial, e as seguintes feitas nos minutos 5, 10 e 15. O fluxo é determinado pela variação do metano na câmara ao longo do tempo. Para aumentar a confiabilidade na determinação dos fluxos, em cada ponto de coleta eram utilizadas 3 câmaras. Desta forma, 1 fluxo é determinado pelo conjunto das 4 seringas obtidas por cada câmara. Em todos os pontos foram coletadas amostras de ar ambiente para validar os fluxos obtidos.

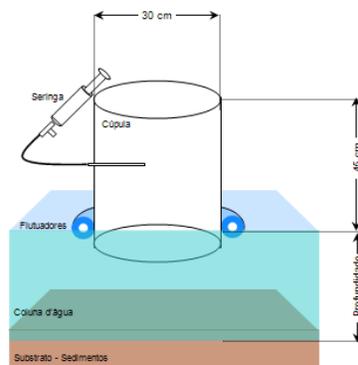


Figura 4.4 – Conjunto para coleta de ar com a câmara estática e seringa.
Fonte: adaptada Silva, 2010

4.3 Determinação das concentrações de metano

As amostras de ar coletadas através do método da câmara estática analisadas no Laboratório Associado de Biogeoquímica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado em São José dos Campos. Foi determinado a concentração de metano através de um cromatógrafo a gás, da marca Shimadzu, modelo GC-14^a, otimizado para análise de metano por Alvalá (1995).

A cromatografia pode ser definida como um método físico-químico de separação dos componentes de uma mistura através de uma fase gasosa móvel sobre um adsorvente estacionário. A cromatografia gasosa é utilizada para a separação de composto volatilizáveis, ou seja, os componentes a serem analisados devem apresentar uma pressão de vapor razoável à temperatura de separação (AQUINO NETO; NUNES, 2003). Esta técnica é muito utilizada em estudos de metano por ter grande precisão, sensibilidade e linearidade, sendo eficaz na determinação de gases-traço (ALVALÁ, 1995).

Na figura 4.5 é ilustrado o sistema de cromatografia gasosa. As principais partes de um cromatógrafo são o injetor, a coluna cromatográfica (responsável pela separação dos constituintes da amostra), o forno de colunas (onde a coluna é aquecida e mantida a uma temperatura constante), o detector e o integrador (responsável pela detecção e determinação dos picos dos constituintes de interesse).

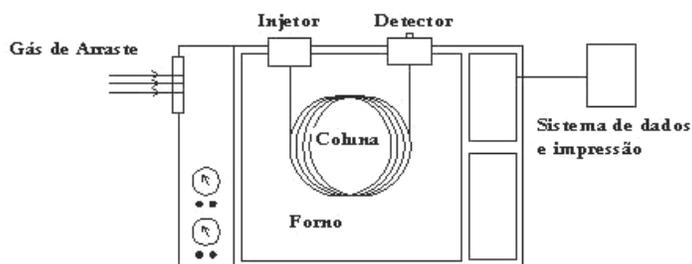


Figura 4.5 – Componentes básicos de um cromatógrafo a gás
Fonte: Adaptada de Ciola (1985).

4.4 Determinação dos fluxos de metano

A determinação do fluxo de metano emitido pela lagoa é obtida a partir da variação temporal da sua concentração no interior da câmara. A concentração de metano em uma amostra de gás pode ser escrita como a razão entre sua pressão parcial (p_i) e a pressão total (p_t), ou pela razão entre o número de moles de CH_4 (n_{CH_4}) e o número total de moles da mistura (n_t). O número de moles de uma substância presente na amostra é dado pela razão entre a massa da substância (m_{CH_4}) e sua massa molar (M_{CH_4}) ou $n_{\text{CH}_4} = m_{\text{CH}_4} / M_{\text{CH}_4}$. Adotando-se uma variação no número de moles de metano (Δn_{CH_4}), e aplicando-se a equação dos gases ideais ($pV = nRT$), pode-se escrever:

$$\frac{\Delta n_{\text{CH}_4}}{n_t} = \frac{\Delta m_{\text{CH}_4} RT}{M_{\text{CH}_4} pV} = \Delta \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.1)$$

ou

$$\Delta m_{\text{CH}_4} = \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4} pVM_{\text{CH}_4}}{RT} \quad (4.2)$$

onde p é a pressão total (atm), V o volume total (litros), M_{CH_4} é a massa molar do metano (16,04 g mol⁻¹), R é a constante dos gases (0,082 atm l mol⁻¹ K⁻¹) e T é a temperatura (K). O termo $\Delta \chi_{\text{CH}_4}$ refere-se à razão de mistura do metano.

Admitindo-se que a variação do fluxo através da área A (m²) é constante durante um intervalo de tempo Δt , pode-se escrever que o fluxo Φ_{CH_4} (em mgCH₄ m⁻² dia⁻¹) como:

$$\Phi_{\text{CH}_4} = \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4} pVM_{\text{CH}_4}}{\Delta t ART} = \frac{pVM_{\text{CH}_4}}{ART} \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4}}{\Delta t} = \frac{pVM_{\text{CH}_4}}{ART} \frac{\partial \chi_{\text{CH}_4}}{\partial t} \quad (4.3)$$

A mais importante variável em (4.3) é $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$, que é a derivada das medidas de concentração. Todas as demais variáveis são medidas diretamente no

momento da coleta. A grandeza $\partial\chi_{\text{CH}_4}/\partial t$ é estimada a partir da regressão linear, considerando-se $\partial\chi_{\text{CH}_4}/\partial t$ como o “b” em $\chi = \chi_0 + bt$, e o coeficiente de correlação r entre χ e t é uma medida da incerteza em $\partial\chi_{\text{CH}_4}/\partial t$. Para se utilizar a regressão linear na obtenção de $\partial\chi_{\text{CH}_4}/\partial t$, considera-se que o fluxo é constante durante o tempo de coleta das amostras. Conforme suas características de transporte ao longo da coluna d’água, o fluxo de metano pode ser dividido em fluxo difusivo e fluxo ebulitivo. No fluxo difusivo, o metano produzido nos sedimentos se difunde lentamente na água, até atingir a superfície e ser emitido para a atmosfera. Esse tipo de fluxo é aproximadamente constante. No fluxo ebulitivo, a emissão de metano do substrato se dá através de bolhas, que são liberadas quase instantaneamente para a atmosfera. Nesse tipo de fluxo, que é esporádico, as quantidades liberadas de metano normalmente são maiores que no fluxo difusivo.

4.4.1 Validação dos fluxos

Para garantir a confiabilidade dos dados obtidos bem como separar os fluxos em difusivos ou ebulitivos, alguns critérios foram adotados, pois nem todos os fluxos são válidos, devido a ocorrência de erros ou contaminação das amostras, desde a coleta até a análise cromatográfica, que inviabilizam a utilização do fluxo. O primeiro critério é dado pelo quadrado do coeficiente de correlação (R^2), para garantir a linearidade requerida para um fluxo difusivo, os valores devem ser superior a 0,9. Este critério é utilizado em diversos estudos sobre metano, podendo citar Sass *et al.*, 1992; Khalil *et al.*, 1998 e Alvalá e Kirchhoff, 2000. O segundo critério baseia-se na comparação entre a concentração inicial de metano X_0 (para $t = 0$), obtida a partir da regressão linear, e a concentração do metano nas amostras de ar ambiente. As concentrações de X_0 e ar ambiente devem apresentar valores semelhantes. O fluxo é considerado válido e difusivo, quando for respeitados esses dois critérios.

Os fluxos ebulitivos geralmente não satisfazem o segundo critério, porém existem situações em que o R^2 é maior que 0,9. Todos os fluxos que não atendem o segundo critério, as curvas foram analisadas para determinar se há ocorrência de bolha durante a coleta, quando é observado um crescimento abrupto na concentração medida no interior da câmara (Smith *et al.*, 2000). Neste tipo de fluxo foi criado um terceiro critério para validação. Os fluxos que apresentam concentração no minuto inicial significativamente maior que a concentração do ar ambiente foram descartados, para evitar situações que a perturbação ao se colocar a câmara na água fossem confundida com bolhas.

4.5 Determinação da concentração de metano dissolvido

Para a determinação do metano dissolvido foi utilizada a técnica conhecida como “head space”, na qual 30 ml de água e 30 ml de ar são agitados em uma seringa equipada com válvula de 3 vias por 2 minutos e, após 2 minutos de repouso, os 30 ml de ar são transferidos para um frasco para análise posterior. O gás existente no frasco após a agitação é analisado em laboratório através de cromatografia gasosa, obtendo a razão de mistura (ppbv) do metano. Utilizando a lei dos gases ideais, é possível determinar a concentração por litro do metano dissolvido.

Sabendo que:

$$\frac{p_{\text{CH}_4}}{p_t} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \Rightarrow p_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} p_t \quad (4.4)$$

Onde p_{CH_4} é a pressão parcial do CH_4 , p_t é a pressão total, n_{CH_4} é o número molar de CH_4 na amostra e n_t é o número total de moles da amostra. Além disso, com m_{CH_4} sendo a massa total do metano na amostra e M_{CH_4} (16,04 g mol^{-1}) sendo a massa molar do CH_4 , temos:

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} \Rightarrow m_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} \quad (4.5)$$

Logo, considerando que:

$$pV = nRT \Rightarrow p_{\text{CH}_4} V = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} RT \quad (4.6)$$

Onde V é o volume da amostra, R é a constante dos gases ($R = 0,082 \text{ atm.l.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$) e T é a temperatura (em Kelvin), pode-se obter:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{p_{\text{CH}_4} V M_{\text{CH}_4}}{RT} \quad (4.7)$$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \frac{p_t V}{RT} M_{\text{CH}_4} \quad (4.8)$$

Lembrando que:

$$\chi_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \quad (4.9)$$

Temos que:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{p_t V}{RT} M_{\text{CH}_4} \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.10)$$

Assim, a concentração (massa/volume) de metano na amostra de ar é:

$$\frac{m_{\text{CH}_4}}{V} = \frac{p_t M_{\text{CH}_4}}{RT} \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.11)$$

Lembrando que, para determinar o metano dissolvido na água, χ_{CH_4} é a razão de mistura no ar ambiente misturado à água no momento da coleta. Como o volume de ar adicionado (30 ml), a equação 4.11 nos dá diretamente a concentração de metano dissolvido na água.

4.6 Parâmetros ambientais

Foram realizadas medidas de parâmetros ambientais da coluna d'água, através de uma sonda multiparâmetros de qualidade de água da marca Horiba, modelo U-51. O aparelho permite a medição da temperatura da água, oxigênio dissolvido, potencial de oxi-redução, pH, total de sólido dissolvidos e condutividade elétrica. Permitindo assim a medida de uma grande quantidade de parâmetros, com precisão e confiabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para alcançar o objetivo deste trabalho foram realizadas campanhas como estudos preliminares, sendo uma no INPE de Cachoeira Paulista em Dezembro/2010, e as outras duas em Fevereiro e Março/2011. A campanha no Rio Madeira foi realizada em Maio/2011.

5.1 Campanha Lagoa do INPE Cachoeira Paulista

Foi realizada uma campanha no dia 17 de dezembro na unidade de Cachoeira Paulista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram coletadas 65 amostras que resultaram em 14 fluxos válidos, dos quais 3 foram classificados como ebulitivos e 11 difusivos. Os fluxos ebulitivos apresentam uma variação entre 78,99 - 269,69 mgCH₄/m²/dia, com fluxo médio de 206,1 ± 110,1 mgCH₄/m²/dia e uma mediana de 53,4 mgCH₄/m²/dia.

A média geral dos 14 fluxos foi de 59,1 ± 91,98 mgCH₄/m²/dia, com uma mediana de 155,7 mgCH₄/m²/dia. Na tabela 5.1 é apresentada as médias, desvio padrão e a faixa de variação dos parâmetros ambientais medidos na superfície da lagoa localizada no INPE - Cachoeira Paulista.

Tabela 5.1 - Média, desvio padrão e faixa de variação dos parâmetros ambientais na lagoa de Cachoeira Paulista.

Parâmetros Ambientais	Faixa de variação	Média	Desvio Padrão
Temperatura Ar (°C)	34,3 – 38,0	35,62	1,3582
Temperatura Água (°C)	28,3 – 29,4	28,67	0,3843
pH	2,7 – 6,7	4,23	1,5109
ORP (mV)	96,0 – 338,0	248,60	90,0276
Oxigênio dissolvido (mg/l)	7,62 – 9,27	8,28	0,5770

A variação dos parâmetros ambientais pode causar alterações físico-químicas na coluna d'água e no substrato, influenciando a produção e emissão de metano. Os fatores analisados neste trabalho foram a temperatura do ar e da água, o pH, o potencial de oxi-redução (ORP) e o oxigênio dissolvido (OD).

A média geral obtida nesse trabalho encontra valores menores que os encontrados por Silva (2010) no Pantanal ($163,8 \pm 343,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com uma mediana de $39,0 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$), bem como por Marani (2007) no Pantanal ($116,8 \pm 275,8 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com uma mediana de $11,1 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$). Muitas das áreas alagadas do Pantanal compreendem áreas de florestas próximas aos rios, ou em planícies. Nestas áreas as taxas de produtividade primária são relativamente altas, bem como as taxas de decomposição. O que justifica a diferença de valores dos fluxos obtidos na área de estudo deste trabalho, que não compreende área de floresta.

5.2 Campanha Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ

As atividades de campo foram realizadas no período de 01 a 03 de Fevereiro de 2011 e 14 a 16 de março de 2011. Ao longo das duas campanhas, foram coletadas 180 amostras que resultaram em 38 fluxos válidos, dos quais 5 fluxos foram classificados como ebulitivos e 33 como difusivos. Na Tabela 5.2 é apresentada a variação, a média e a mediana dos fluxos.

Tabela 5.2 - Fluxos obtidos e valores de média, desvio padrão, mediana e variação para difusivo e ebulitivo para a Lagoa Rodrigo de Freitas.

Fluxos	Fluxo ($\text{mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)			
	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Varição</i>
Difusivo	33	$46,9 \pm 25,0$	42,2	18,6 – 117,0
Ebulitivo	05	$47,7 \pm 22,4$	44,7	26,9 – 81,1
Total	38	$47,0 \pm 24,4$	42,7	18,6 – 117,0

O valor de média geral obtido nesse trabalho apresenta valores próximo ao emitido por uma lagoa do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Cachoeira Paulista ($59,1 \pm 91,9 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e mediana $155,7 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$), esta lagoa é uma das utilizadas para abastecimento de água do INPE.

A fim de compreender os mecanismos de produção e transporte do metano na coluna d'água que ocorrem na Lagoa Rodrigo de Freitas foram realizadas coletas do metano dissolvido ao longo de diferentes profundidades da coluna

d'água, possibilitando a obtenção do perfil. Foram coletadas 30 amostras, que apresentaram valores médios de metano dissolvido observados da ordem de $1,4 \times 10^{-2} \pm 0,4 \times 10^{-2}$ mg/l na subsuperfície, com uma mediana de $1,3 \times 10^{-2}$ mg/l. Para o meio da coluna d'água a média foi de $1,3 \times 10^{-2} \pm 0,4 \times 10^{-2}$ mg/l, com uma mediana de $1,3 \times 10^{-2}$ mg/l, enquanto que a média no fundo foi de $1,9 \times 10^{-2} \pm 1,1 \times 10^{-2}$ mg/l e uma mediana de $1,7 \times 10^{-2}$ mg/l. Na Figura 5.1 são apresentados os resultados obtidos em cada ponto de coleta.

Evidenciou-se que a média de metano próxima ao substrato foi maior que as demais e que houve uma diminuição nos valores conforme se aproxima da superfície da coluna d'água. Conforme esperado, esse perfil mostra que nem todo o metano produzido próximo ao substrato chega a ser transportado para a superfície, sendo consumido por bactérias metanotróficas existentes na água, difundindo-se pela coluna d'água de forma gradativa.

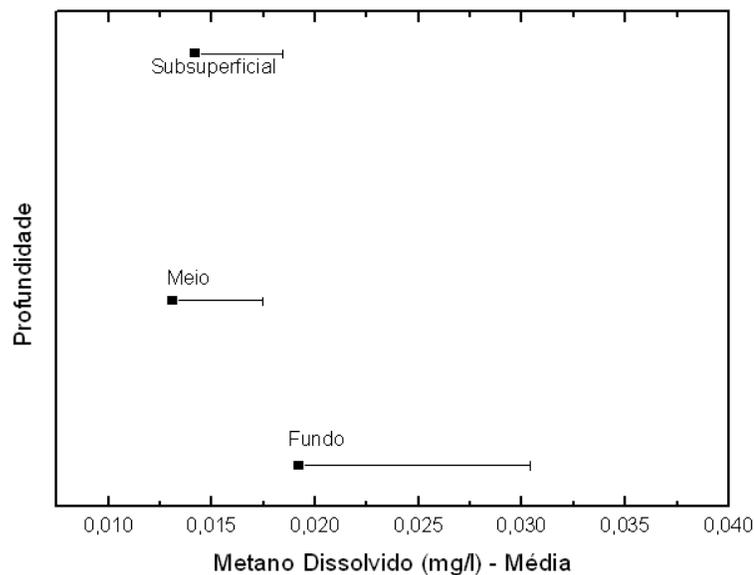


Figura 5.1 - Metano dissolvido – média x profundidade

Foram tomadas medidas de parâmetros ambientais d'água logo abaixo da superficial (subsuperficial), no meio da coluna d'água e próximas ao sedimento, através de uma sonda multiparâmetros de qualidade de água da marca Horiba,

modelo U-51. O aparelho permitiu a medição da temperatura da água, oxigênio dissolvido, potencial de oxi-redução e pH. A Tabela 5.3 Apresenta a média e desvio padrão dos parâmetros ambientais.

Tabela 5.3 – Parâmetros ambientais medidos na Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ

Parâmetros Ambientais	Média subsuperficial	Média Meio	Média Fundo
Temperatura Ar (°C)	28,9 ± 0,9	27,9 ± 0,9	27,99 ± 0,9
Temperatura Água (°C)	29,9 ± 0,4	28,8 ± 0,2	28,5 ± 0,2
pH	7,6 ± 0,3	7,7 ± 0,2	7,5 ± 0,3
ORP (mV)	81,9 ± 18,7	81,8 ± 13,7	78,7 ± 13,0
Oxigênio dissolvido (mg/l)	5,3 ± 1,4	4,8 ± 1,5	2,2 ± 0,8

Como esperado, o ambiente com menos oxigênio próximo ao substrato favoreceu a produção de metano por bactérias metanogênicas, enquanto que o aumento gradativo da concentração de oxigênio ao longo da coluna d'água aumentou o consumo do metano antes que ele atingisse a superfície.

5.2 Campanha Usina Hidrelétrica Santo Antonio – Rio Madeira

As atividades de campo foram realizadas no período de 08 a 13 de maio de 2011. Foram realizadas medidas de fluxo em 12 pontos ao longo do Rio Madeira, na área em que se formará o reservatório da Usina de Santo Antônio, com três pontos de coleta à jusante (dois no Rio Madeira e um no Igarapé Jatuarana) e nove pontos à montante, como descrito na Tabela 5.4, que também apresenta os valores médios do fluxo medido em cada ponto.

A grande variabilidade observada nos fluxos em alguns pontos está relacionada à alta ocorrência de fluxos ebulitivos (bolhas). Dos 33 fluxos válidos obtidos, 16 foram classificados como ebulitivos e 17 como puramente difusivos. A ocorrência de fluxos ebulitivos foi observada apenas nas amostragens realizadas no Rio Madeira, e apresentou valor médio de $1946,3 \pm 3273,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com mediana de $674,5 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e faixa de variação de 138,8 a $12303,6 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Já os fluxos difusivos apresentaram

média de $29,0 \pm 32,4 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com mediana de $12,7 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com valores entre $3,0$ e $125,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. A tabela 5.5 apresenta as medidas dos parâmetros ambientais.

Tabela 5.4 - Valores médios de fluxo em cada ponto no rio Madeira e igarapés

Ponto	Latitude	Longitude	N	Fluxo médio ($\text{mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)
JAT II	08°38'48,6"S	63°55'05,7"O	3	80,6±39,2
JAT IIb - à jusante da foz	08°38'43,9"S	63°54'54,8"O	2	961,3±405,5
JUS 01	08°47'05,0"S	63°56'08,4"O	3	9,0±1,1
MOM 01	08°49'59,4"S	63°59'14,1"O	3	2132,6±3423,6
JAT 1	08°49'48,5"S	64°02'44,4"O	3	9,0±4,4
JAT 1b - à jusante da foz	08°49'50,8"S	64°02'37,5"O	2	6153,3±8697,8
MOM 02	08°54'54,8"S	64°05'20,8"O	3	1766,8±1556,2
JAC 1	09°12'35,7"S	64°23'19,1"O	2	8,7±3,3
JAC 1b	09°12'25,8"S	64°23'41,3"O	3	95,8±235,7
MOM 03	09°02'00,3"S	64°16'42,0"O	3	417,8±485,7
MOM 04	09°10'21,4"S	64°28'09,3"O	3	253,8±354,6
MOM 05	09°13'03,8"S	64°37'02,8"O	3	391,0±297,1

Tabela 5.5 - Valores médios dos parâmetros ambientais em cada ponto no rio Madeira e igarapés.

Pontos	T _{ár}	T _{água}	pH	ORP	OD	TSD	Prof.
	(°C)	(°C)					
JAT II	31	26,9	5,6	3	1,38	6	7
JAT IIb - à jusante da foz	31	27,1	5,8	105	5,4	45	1
JUS 01	30	27,8	8	30	3,14	51	6,5
MOM 01	30	26,8	5,5	-16	2,9	46	3
JAT 1	31	28,5	4,4	46	1,6	5	9
JAT 1b - à jusante da foz	29	26,9	3,5	221	2,86	48	2
MOM 02	28	26,9	6	136	3	47	3
JAC 1	28	26,9	6,8	101	2,24	10	2,5
JAC 1b - à jusante da foz	27	26,6	7,4	76	2,09	48	2
MOM 03	28	26,8	7,3	75	2,11	45	1,5
MOM 04	29	26,7	7,3	60	2,65	48	2
MOM 05	29	26,8	7	101	2,4	48	2

6. CONCLUSÃO

A metodologia utilizada na coleta das amostras se mostrou eficiente e confiável na Lagoa do INPE de Cachoeira Paulista e Lagoa Rodrigo de Freitas e hábil à avaliação das emissões em reservatórios hidrelétricos.

Nas lagoas a emissão é influenciada por uma forte atividade de bactérias metanotrófica no local, à constante troca de água e também marcada pela diminuta ocorrência de fluxos ebulitivos durante os experimentos. Entretanto, no Rio Madeira ocorreram fluxos ebulitivos com valores médios maiores que os encontrados na lagoa como se era esperado pela grande presença de grandes quantidade de sedimentos e uma quantidade pouco comum de material flutuante: galhos de árvores, folhas e mesmo grandes troncos.

O oxigênio dissolvido e o pH foram as variáveis medidas que indicaram que os parâmetros ambientais mostram ter influencia na emissão de metano, afirmando que sua alteração pode incrementar a liberação deste gás para atmosfera.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVALÁ, P.C. **Observações do metano atmosférico no Brasil**. 1995. 126 p. (INPE-5969-TDI/573). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1995.

ALVALÁ, P.C.; KIRCHHOFF, W.V.J.H., Methane fluxes from the Pantanal floodplain in Brazil: seasonal variation. In: van Ham *et al.* (Eds.) **Non-CO₂ Greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 95-99, 2000.

AQUINO NETO, F.R.; NUNES, D.S.E.S. **Cromatografia - princípios básicos e técnicas afins**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 188p. ISBN 85-7193-086-4.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Informações gerais e valores preliminares**. Brasília, 2009, 16p.

CARDOSO, F. **Efeito estufa: porque a Terra morre de calor**. Editora Terceito Nome; Mostarda Editora, 1º Ed, p. 94, 2006

CIOLA, R., Fundamentos da cromatografia a gás. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1985.

DACHERY, J. M.; SEVERGNINI, K; BAR8.BISAN, A.O. Energia hidrelétrica: principal fonte energética do país e a UHE Foz do Chapecó. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v.1, n.1, p.31-38, 2010.

DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R. Production of greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of boreal region. **Global Biogeochemical Cycles**, v.9, p.529-540, 1995.

ELETROBRÁS. **Emissão de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Relatório final**. Rio de Janeiro, 2000, 95p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p. ISBN 85-7193-008-2.

FEARNSIDE, P. M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, New York, v.27, n.3, 2001, p.377-396.

FEST, B.J.; LIVESLEY, S.J.; DRÖSLER, M.; VAN GORSEL, E.; ARNDT, S.K., Soil-atmosphere greenhouse gas exchange in a cool, temperate *Eucalyptus*

delegatensis forest in south-eastern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 393-406, 2009.

IPCC Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, 881 pp.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A.; SHEARER, M.; DALLUGE, R.; REN, L.; DUAN, C.L., Factors affecting methane emissions from rice fields. **J. Geophys. Res.**, v. 103, n. D19, p. 25219-25231, 1998.

LEVINE, J.S.; COFER III, W.R.; PINTO, J.P., Biomass burning. In: Khalil, M. (Ed.) **Atmospheric methane: its role in the global environment**. New York, NY: Springer-Verlag, p. 190-201, 2000.

LIMA, I. B. T. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hidroreservoirs. **Chemosphere**, v.59, 2005, p.1697-1702.

LIMA, I.B.T. **Emissão de metano por reservatórios hidrelétricos amazônicos através de leis de potência**. Tese de Doutorado, Piracicaba, 2002.

MACDONALD, J.A.; EGGLETON, P.; BIGNELL, D.E.; FORZI, F.; FOWLER, D., Methane emission by termites and oxidation by soils, across a forest disturbance gradient in the Mbalmayo Forest Reserve, Cameroon. **Global Change Biology**. v. 4, p. 409-418. 1998.

MANAHAN, S E. Environmental Chemistry. 6. ed. Boca Raton (Florida - USA): Lewis Publishers, 1994. 612 p.

MARANI, L. **Estudo da emissão de metano no Pantanal Sul Matogrossense**. 2007. 108p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Orientador*: Plínio Carlos Alvalá.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; CASTELLANELLI, C. Geração de energia através da casca de arroz: uma análise ambiental. In: A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais** do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007, 10p.

MELACK, J. M.; HESS, L. L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M. Regionalization of methane emissions in the Amazon basin with microwave remote sensing. **Global Change Biol.**, v.10, p. 530-544, 2004.

MME, Ministério de Minas e Energia. Relatório de Gestão do Ministério de Minas e Energia Exercício de 2006. Março, 2007.

MULLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento** - Sao Paulo, SP: Makron, 1996 412300523

NOVO, E.M.L.M.; TUNDISI, J.G. Contribution of remote sensing techniques to the assessment of methane emission from large tropical reservoirs. **Remote Sensing Reviews**, v. 10, p.143-153, 1994.

PELLIZARI, V. H.; NAKAYAMA, C. R.; ARAUJO, A. C. V.; LIOTTI R. G.; VAZOLLER, R. F. Metano, Mudanças Climáticas Globais e a Microbiologia. **Microbiologia In Foco**, 2007, p.4-9.

RIMA, **Relatório de Impacto Ambiental Usina Hidrelétrica de Santo Antônio e Jirau**. 2005. 85p. Responsável pela elaboração do RIMA: Paulo Márcio Pinheiro Campos.

SASS, R.L.; FISHER, F.M.; WANG, Y.B.; TURNER, F.T.; JUND, M.F., Methane emissions from rice fields: the effect of floodwater management. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 6, n. 3, p.249-262, 1992.

SCHAEFFER, R. **O Futuro da Energia Elétrica no Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/content/o-futuro-da-energia-eletrica-no-brasil>>. Acesso em: 2 set. 2009.

SEILER, W.; CONRAD, R. Contribution of tropical ecosystem to the global budget of trace gases, especially CH₄, H₂, CO, and N₂O. In: Dickinson, R.E. (Ed.) **The Geophysiology of Amazonia: vegetation and climate interactions**. New York, NY: Willey, p. 133-160, 1987.

SILVA, M. G. **Variação interanual e análise da influência de parâmetros ambientais na emissão de metano no Pantanal**. 2010. 99p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Orientador*: Plínio Carlos Alvalá.

SILVA, G. D. **O impacto da compensação financeira pela utilização de recursos hídricos no desenvolvimento de municípios, o caso do reservatório da Usina Hidroelétrica Três Marias**. 2007. 146p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília. *Orientadora*: Ercília Torres Steinke.

SIMPSON, I.J.; ROWLAND, F.S.; MEINARDI, S.; BLAKE, D.R., Influence of biomass burning during recent fluctuations in the slow growth of global tropospheric methane. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L22808, p. 1-5, 2006.

SMITH, L.K.; LEWIS, JR. W.M.; CHANTON, J.P.; CRONIN, G.; HAMILTON, S.K., Methane emission from the Orinoco River floodplain, Venezuela. **Biogeochemistry**, v. 51, n. 2, p. 113-140, Nov. 2000.

SVENSSON, B. Greenhouse gas emission from hydroelectric reservoirs: a global perspective. In: SEMINAR ON GREENHOUSE FLUXES FROM HYDRO RESERVOIR AND WORKSHOP ON MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RESERVOIR AT WATERSHED LEVEL, 2005, Rio de Janeiro. Proceedings...: Rio de Janeiro: ELETROBRAS, COPPE/UFRJ.

TUNDISI, J. G., 1986, Ambiente, represas e barragens. *Ciência Hoje*, 5(27): 48-54.

VALENÇA, W.; ROSA, L. P. Impactos socioeconômicos da hidroelétrica de Tucuruí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 6, Rio de Janeiro, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro, 1993. V.1,p.83-88.

WUEBBLES, D. J.; HAYLOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth-Science Reviews**, v.57, 2002, p.177-210.

XIE, M.; LI, S.; JIANG, F.; WANG, T., Methane emissions from terrestrial plants over China and their effects on methane concentrations in lower troposphere. **Chinese Science Bulletin**, v. 54, n. 2, p. 304-310, 2009.