



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIOLOGIA DE ÁGUA DOCE E PESCA INTERIOR – BADPI**

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CH<sub>4</sub> NAS SAVANAS ÚMIDAS DE RORAIMA**

**SEWBERT RODRIGUES JATI**

Manaus, AM  
2013

**SEWBERT RODRIGUES JATI**

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CH<sub>4</sub> NAS SAVANAS ÚMIDAS DE RORAIMA**

**Orientador :** PhD. Bruce Rider Forsberg

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do INPA como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia de Água Doce e Pesca Interior.

Manaus, AM  
2013

J39 Jati, Sewbert Rodrigues  
Emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nas savanas úmidas de Roraima / Sewbert  
Rodrigues Jati --- Manaus : [s.n], 2013.  
xii, 66 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2013.

Orientador : Bruce Rider Forsberg.

Área de concentração : Biologia de Água Doce e Pesca Interior.

1. Savana - Roraima. 2. Efeito Estufa. I. Título.

CDD 19. ed. 574.526438114

Dedico este trabalho aos meus pais, especialmente minha mãe que já não está mais entre nós, mas cujas motivações me impulsionaram e me encorajaram a sempre estudar.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa através do projeto MERCAM.

À CAPES pela bolsa de estudo.

A SECD pela liberação das atividades de trabalho para desenvolvimento do curso.

A FUNAI pela liberação das atividades de trabalho para fazer as coletas.

Ao INPA pela infra-estrutura atividades acadêmicas, de campo e de laboratório, especialmente no Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e no Laboratório Temático de Solos e Plantas.

A CAER pelos dados de cota do rio Branco.

Ao Doutor Bruce Rider Forsberg, ótimo orientador, que colocando seu vasto conhecimento a minha disposição, ajudou-me de todas as formas possíveis que estiveram a seu alcance.

Ao Doutor Jonh Melack que auxiliou consideravelmente na fase final deste estudo.

Ao Doutor Celso Morato de Carvalho (INPA/RR), pelas conversas, conselhos e orientações, além do apoio logístico, tornando possível as atividades de campo e na disponibilidade de um local no INPA/RR para estudos e pesquisas.

Ao Doutor Reinaldo Imbrózio Barbosa (INPA/RR) pelas conversas, conselhos e orientações.

A Heleno Valente (Técnico do INPA/RR) por acompanhar as coletas de campo.

As Dras. Ângela Varella e Sidnéia Amádio, coordenadoras do Curso de Biologia de Água doce e Pesca Interior, pelo tempo e esforço despendidos aos alunos e à pós-graduação.

A Carminha Arruda sempre disposta a solucionar problemas na secretaria do BADPI.

Aos professores do INPA pelo conhecimento transmitido e também aos colegas de classe pelo crescimento intelectual e pessoal que me proporcionaram enquanto estudávamos, fazíamos trabalhos em equipe ou discussões científicas.

A Raimundo Jati, Rosângela (Pretinha), Nicolas e Tainá, minha família por entenderem minha ausência e me incentivarem no decorrer do curso, mesmo a distância.

A Otávio Peleja, Veber Moura, Bruno Lima e Minhoca pelas ajudas em laboratório, sendo que o primeiro também auxiliou na elaboração dos gráficos deste estudo.

A Banca e defesa pela atenção com que corrigiram a presente dissertação.

Aos meus colegas de república, Cezinha, Diego, Português e Guilherme pela paciência, companheirismo e amizade que recebi.

Ao meus tios Lúcio, Alicate, Edvaldo, Eulália, Fátima por sempre terem me acolhido e me socorrido aqui em Manaus, dando-me todo o apoio sempre que necessitei.

A todos, muito obrigado!

## RESUMO

Áreas alagadas da Amazônia são fontes significativas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e gás metano (CH<sub>4</sub>), importantes gases de efeito estufa. No entanto, são escassos os dados para as savanas úmidas de Roraima. Este estudo contribuiu para descrever a dinâmica sobre a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nestas áreas a fim de melhorar as estimativas de emissão regionais. Os fluxos foram medidos com funis invertidos e câmaras flutuantes em 80 lagos das savanas úmidas de Roraima. Velocidade do vento, temperatura, profundidade, variação da cota do rio Branco e oxigênio dissolvido na superfície e no fundo dos lagos foram relacionadas às emissões difusivas de gases. A cota dos lagos variou sazonalmente ao longo do ano acompanhando a cota do rio Branco. A área alagada variou entre os meses, totalizando 13.269,85 km<sup>2</sup>, o que equivale a 33,34% da área total da savana úmida de Roraima. Não foram identificadas emissões, por ebulição, de CO<sub>2</sub> e de CH<sub>4</sub>. A cota do rio Branco variou de 1,6 a 6,6m, com seu pico em agosto de 2012. O oxigênio dissolvido na água variou de 4,6 a 1,4mg.l<sup>-1</sup> na superfície da água e 2,1 a 0,0mg.l<sup>-1</sup> no fundo do lago, diminuindo com a profundidade, raramente formando hipólímnio anóxico. A temperatura da água variou de 21,5 a 35,2°C. As concentrações de CO<sub>2</sub> (220,616 a 404,271µM) e CH<sub>4</sub> (1,09 a 1,39µM) na água variaram significativamente ao longo dos meses. O total das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> diferiram, significativamente entre os meses, ao longo do ano, com seus totais anuais obtidos a partir da soma das médias das emissões mensais multiplicados pela área alagada do Lavrado foram de 13,14TgC-CO<sub>2</sub>.ano<sup>-1</sup> e 0,0125TgC-CH<sub>4</sub>.ano<sup>-1</sup>, o que equivale a 2,80% e 0,06% das emissões regionais de carbono equivalente a CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. As diferenças significativas entre as emissões mensais foram relativas a velocidade do vento e temperatura da água diretamente e a profundidade dos lagos, inversamente. Estes resultados demonstram a necessidade de rever as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> feitas para toda a Amazônia, especialmente nas savanas úmidas de Roraima.

Palavras-Chave: Efeito Estufa, Carbono, Metano, Savanas Úmidas, Lagos, Roraima, Amazônia.

## ABSTRACT

Amazon wetlands are significant sources of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>), important greenhouse gases. However, limited data are for moist savannas of Roraima. This study contributed to describe the dynamics on the emission of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in these areas in order to improve regional emission estimates. Flows were measured with floating chambers and inverted funnels in 80 lakes of humid savannas of Roraima. Wind speed, temperature, depth, variation of the water height White River and dissolved oxygen on the surface and the bottom of lakes were related to diffusive gas emissions. The dimension of the lakes varied seasonally throughout the year following the quota White River. The flooded area varied between months, totaling 13269.85 km<sup>2</sup>, equivalent to 33.34 % of the total area of the humid savanna of Roraima. There were no emissions by boiling, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>. The coordinate of the White River ranged from 1.6 to 6.6 m, with peak in August 2012. The dissolved oxygen ranged from 4.6 to 1.4 mg.l<sup>-1</sup> on the surface of water and 2.1 to 0.0 mg.l<sup>-1</sup> in the bottom of the lake, decreasing with depth, rarely forming anoxic hypolimnion. Water temperature ranged from 21.5 to 35.2°C. CO<sub>2</sub> concentrations (from 220.616 to 404.271 μ M ) and CH<sub>4</sub> (1.09 to 1.39 μ M ) in water varied significantly over the months. The total emissions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> differed significantly between months, throughout the year, with their annual totals obtained from the sum of the average monthly emissions multiplied by the flooded area were Lavrado 13.14 TgC-CO<sub>2</sub>.ano<sup>-1</sup> and 0.0125 TgC-CH<sub>4</sub>.ano<sup>-1</sup>, which corresponds to 2.80 % and 0.06 % of carbon equivalent emissions regional CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>. The significant differences between monthly emissions were related to wind speed and water temperature and depth of the lakes directly, inversely. These results demonstrate the need to revise the emissions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> made throughout the Amazon, especially in humid savannas of Roraima.

Keywords : Greenhouse, Carbon, Methane, Moist Savannas, Lagos, Roraima, Amazon.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Relação entre a cota do rio Branco(m) com a área alagada nas savanas úmidas, utilizando-se a relação estabelecida no trabalho de Hamilton et al (2002)..... 40
- Tabela 2:** Valores das médias das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>), por mês de coleta, provenientes dos lagos do lavrado..... 44
- Tabela 3:** Matriz de Correlações Canônicas entre o CO<sub>2</sub> e as variáveis ambientais analisadas nesse estudo..... 45
- Tabela 4:** Matriz de Correlações Canônicas entre o CH<sub>4</sub> e as variáveis ambientais analisadas nesse estudo..... 45
- Tabela 5:** Estimativas regionais de emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (TgC.mês<sup>-1</sup>), nos lagos do Lavrado. \*As emissões dos meses de Junho de 2012 e Julho de 2012 foram calculados a partir da médias dos meses de maio de 2012 e Agosto de 2012, multiplicados pela área alagada do Lavrado estabelecida por Hamilton et al (2002)..... 46
- Tabela 6:** Comparação de médias de concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> encontradas nesse estudo com outros estudos desenvolvidos na Amazônia..... 54
- Tabela 7:** Fluxo de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>)..... 55
- Tabela 8:** Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (TgC.mês<sup>-1</sup>). Área alagada calculada a partir das relações estabelecidas por Hamilton et. al., 2002. \*Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> inferidas a partir das médias dos meses de maio de 2012 e agosto de 2012 e multiplicadas pela área alagada conforme as outras médias..... 58

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fitofisionomias do estado de Roraima.....	19
<b>Figura 2:</b> Formação do Graben do Tacutu .....	21
<b>Figura 3:</b> Resquícios do Graben do Tacutu, demonstrando sua antiga ligação com o mar do caribe.....	22
<b>Figura 4:</b> Relação entre a cota do rio Branco e a precipitação em sua bacia. O eixo da esquerda representa a cota do rio Branco (m), colhida na estação da Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAER), em Boa Vista/RR e o eixo da direita representa a pluviosidade (mm) colhida na estação meteorológica de Boa Vista/RR.....	23
<b>Figura 5:</b> Área de coleta.....	25
<b>Figura 6:</b> Câmara de difusão de gases.....	28
<b>Figura 7:</b> Funil de captura de bolhas gasosa.....	28
<b>Figura 8:</b> Frascos utilizados para coleta dos gases de feito estufa.....	30
<b>Figura 9:</b> Cromatógrafo gasoso utilizado na pesquisa.....	33
<b>Figura 10:</b> Tabela que descreve a predição entre área alagada e cota do rio no trabalho de Hamilton et. al., 2002.....	38
<b>Figura 11:</b> Variação da cota do Rio Branco, em metros. Linha azul (média mensal) e linha preta (diária).....	39
<b>Figura 12:</b> Variação das médias de O <sub>2</sub> ao longo dos meses na superfície dos lagos (a) e no fundo dos lagos (b).....	41
<b>Figura 13:</b> Variação da concentração média de CO <sub>2</sub> , por mês, utilizando-se o método de “had-space” nos lagos do Lavrado. ....	42
<b>Figura 14:</b> Variação da concentração média de CH <sub>4</sub> , por mês, utilizando-se o método de “had-space” nos 80 lagos coletados durante o estudo.....	43

<b>Figura 15:</b> Lagos e brejos do lavrado, dentro da área de estudo, próximo a cidade de Boa Vista, RR.....	47
<b>Figura 16:</b> Lago típico do lavrado, dentro da área de estudo.....	49

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1 Geral</b> .....	17
<b>2.2 Específicos</b> .....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
<b>3.1 Área de Estudo: Savana úmida</b> .....	18
<b>3.2. Desenho experimental</b> .....	25
<b>3.3 Coleta de gases</b> .....	28
a) <b>Medida de emissão difusiva com câmara estática</b> .....	29
b) <b>Medida da taxa de ebulição com Funis</b> .....	31
<b>3.4 Análises Cromatográficas</b> .....	33
<b>3.5 Cálculo das emissões difusivas</b> .....	33
<b>3.6 Cálculo da emissão ebulitiva</b> .....	34
<b>3.7 Metodologia para variáveis ambientais</b> .....	35
<b>3.8 Extrapolação das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub></b> .....	37
<b>4. RESULTADOS</b> .....	39
<b>4.1 Parâmetros avaliados no trabalho</b> .....	39
<i>Variação hidrológica</i> .....	39
<i>Estratificação do oxigênio e temperatura na água</i> .....	40
<b>4.2 Emissão de GEEs e a influência de variáveis ambientais</b> .....	41
<b>4.2.1 Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dissolvidos na água</b> .....	41
<b>4.2.2 Emissões ebulitivas e difusivas de CO<sub>2</sub> e de CH<sub>4</sub></b> .....	43
<b>4.3 Influência de fatores ambientais sobre as emissões de CO<sub>2</sub></b> .....	44
<b>4.4 Influência de fatores ambientais sobre as emissões de CH<sub>4</sub></b> .....	45

4.5 Estimativas regionais.....	46
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1 Descrição da paisagem e de parâmetros que influem na emissão de GEEs.	47
5.2 Emissão de GEEs e a influência de variáveis ambientais sobre estes fluxos	51
5.2.1 <i>Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> no ar atmosférico.....</i>	51
5.2.2 <i>Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dissolvidos na água.....</i>	54
5.2.3 <i>Emissões ebulitivas e difusivas de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.....</i>	55
5.2.4 Total de emissões de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> .....	57
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a era industrial, uma série de alterações no ambiente, como mudanças nos ecossistemas, produção e liberação de poluentes foram desencadeadas pelo homem. Muita atenção se tem dado, atualmente, ao aquecimento global, que se deve ao aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEEs) associada à queima de combustíveis fósseis, ao desmatamento, à construção de reservatórios e outras mudanças no uso da terra (Barbosa & Ferreira, 2004; Chave et al., 2006; Fearnside, 2007; Nogueira et. al., 2007, Fearnside, 2002; Kemenes et al., 2007; IPCC, 2001, 2007; Kemenes, 2012).

A fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol. Ele emite energia, boa parte dessa energia atravessa a atmosfera terrestre, sendo absorvida uma parte pela sua superfície, que se aquece. A Terra aquecida reemite energia. Essa energia volta ser absorvida por gases como: o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os compostos de clorofluorcarbono (CFC) ou **freons**, que reemitem energia em direção à superfície e para fora da atmosfera. Essa absorção/emissão por esses gases constituem o chamado *efeito-estufa*.

O vapor d'água é o gás principal do efeito estufa e sua concentração é extremamente variável no espaço e tempo. O  $\text{CO}_2$  é o segundo gás em importância, com concentração até 100 vezes inferior a do vapor d'água, o que equivale a uma concentração de  $379\mu\text{M}$  em 2005 (IPCC, 2007). Embora sua concentração seja baixa, é o gás de *efeito-estufa* (GEE) que tem causado maior polêmica, pois sua concentração cresce à taxa de 0,4% ao ano, sendo esse crescimento atribuído às atividades humanas (IPCC, 2007). O  $\text{CH}_4$ , com concentrações muito pequenas, na ordem de  $1,7\mu\text{M}$ , também aumenta cerca de 1,0% ao ano (IPCC, 2007).

O efeito estufa regula a temperatura do planeta possibilitando a existência de vida (Fearnside, 2007). Além da importância do vapor d'água, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), gás metano (CH<sub>4</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) também contribuem significativamente para este efeito. Devido às atividades humanas, as concentrações atmosféricas destes últimos GEEs têm aumentado marcadamente desde 1750, e tem atingido os maiores níveis em relação aos valores pré-industriais, determinados a partir da análise de gases acumulado em colunas de gelo durante milhares de anos (IPCC, 2007). A consequência do aumento na concentração atmosférica de GEE é confirmada (1) pela mudança da temperatura; (2) pela taxa de retração dos glaciais; e (3) pela progressiva subida no nível do mar (IPCC, 2001).

A queima de combustíveis fósseis foi identificada como a fonte primária do aumento atmosférico da concentração de GEE, desde o período pré-industrial. As mudanças de uso da terra foram identificadas como outra fonte significativa, mas com menor contribuição (IPCC, 2007). Porém a contribuição relativa destas fontes para o aumento observado em GEE na atmosfera ainda não é bem quantificada, mas vem melhorando sua precisão quando fontes e sumidouros destes gases no planeta são identificadas e quantificadas.

Estimativas regionais e globais das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> variam muito e são pouco precisas (Matthews e Fung, 1987; Aselmann e Crutzen, 1989; Schlesinger, 1997; Melack et al, 2004). Esta falta de precisão se deve ao baixo número de medidas existentes, especialmente em áreas remotas (Bartlett e Harriss, 1993; Melack et al, 2004) e a erros associados a estas medidas (Cole e Caraco 1998). Por isso, estudos recentes têm focado novas medidas de emissões em regiões pouco caracterizadas e na investigação das fontes de erro nestas e em medidas anteriores.

Lagos e áreas alagáveis naturais ou antrópicas são importantes fontes de CO<sub>2</sub> (Cole e

Caraco, 1998; Melack e Forsberg, 2001; Hamilton, 2010; Kemenes et al, 2001; Kemenes, 2012; Fearnside e Pueyo, 2012) e CH<sub>4</sub> (Marani e Alvalá, 2007; Bastviken et al, 2004; Melack et al, 2004; Kemenes et al, 2007; Kemenes, 2012; Fearnside e Pueyo, 2012) para a atmosfera terrestre. Uma das maiores extensões de áreas alagáveis no mundo é encontrada na bacia Amazônica. Estimada por Melack et al (2004) a cobrir mais que 0,73 milhões de km<sup>2</sup>, a área alagável Amazônica é composta de um complexo mosaico de habitats, incluídos planícies fluviais de: Igapós (água preta e água clara), Várzeas (água branca) e áreas alagáveis interfluviais o que incluem campinas, campinaranas, florestas alagáveis e savanas úmidas (Junk et al, 2011). Já existem algumas estimativas da emissão total de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para a bacia Amazônica (Melack e Forsberg, 2001; Richey et al, 2002; Melack et al, 2004). Porém estas se basearam predominantemente em medidas de fluxo realizadas ao longo da várzea Amazônica central, que não representam toda a diversidade de habitats alagáveis existentes na região. Faltam ainda caracterizar as emissões em alguns habitats remotos como as florestas interfluviais alagáveis e as savanas úmidas, cujas maiores extensões desse último ambiente encontram-se no norte de Roraima e no norte da Bolívia (Hamilton et al, 2002). Novas medidas de emissões são necessárias nestas áreas para caracterizar os fluxos destes habitats e aperfeiçoar as estimativas regionais da emissão de GEE.

Outra fonte de variação nas estimativas regionais de emissão são os erros associados às medidas individuais de fluxo. A taxa de emissão difusiva de gás (F) num determinado local depende da diferença entre a concentração desse gás na água (C<sub>água</sub>) e o valor esperado na água em equilíbrio com o ar (C<sub>ar</sub>) e uma série de outros fatores (velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio, profundidade do corpo d'água, turbulência da água) que influenciam o coeficiente de difusão (D) e a espessura da faixa superficial (*efs*) onde regem as

leis de difusão. A soma destes efeitos é estabelecida pela lei de Fick:

$$F = (D/efs) (C_{\text{água}} - C_{\text{ar}})$$

O coeficiente e a taxa de emissão tendem a aumentar em função da temperatura da água enquanto a  $efs$  diminui em função da turbulência a água que é influenciada por sua vez pela turbulência e está inversamente relacionado à emissão. A turbulência varia em função de diversos fatores incluindo a velocidade de vento, o fetch (comprimento) do lago e correntes verticais de densidade (MacIntyre et al, 1995, 2010). Para controlar o efeito da temperatura sobre a difusão e investigar os efeitos da turbulência sobre a espessura da faixa superficial e o fluxo, a razão  $D/efs$ , chamado velocidade de pistão ( $k$ ), é frequentemente normalizado a uma temperatura de 20°C. Este valor, chamado  $k_{600}$ , tem sido utilizado em diversos estudos para investigar os efeitos da velocidade do vento e outros fatores ligados à turbulência sobre a emissão de gases em oceanos (Broecker e Peng, 1984; Watson, 1993), em lagos e rios (Cole e Caraco, 1998; Cole et al, 2007) e em áreas alagáveis Amazônicas (Kemenes et al, 2011). Cole et al (2010) indicaram o uso de múltiplos métodos para investigar a influência das variáveis ambientais citadas anteriormente e obter uma melhor estimativa de emissão difusiva.

As emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em áreas alagáveis da Amazônia também podem ocorrer por ebulição (Devol et al, 1990, 1994). Estudos em igapós do rio Jáu (Rosenqvist et al, 2002) e em Campinaranas interfluviais do rio Negro (Belger et al, 2010) demonstraram que estes fluxos tendem a ser maior durante períodos de vazante quando a pressão hidrostática sobre os sedimentos diminui. É provável que este fator também influencie na ebulição de gases em outras áreas alagáveis fluviais e interfluviais da Amazônia, como nas savanas úmidas de Roraima, onde este trabalho foi desenvolvido.

No entanto, poucos estudos têm investigado os efeitos das variáveis descritas acima sobre a difusão e ebulição de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e incertezas nas medidas de emissão sobre áreas alagáveis continuam sendo uma das principais fontes de dúvidas nas atuais estimativas de fluxo de GEE na região Amazônica (Houghton et al, 2001; Hamilton, 2010). Este tipo de informação é especialmente escassa em áreas alagáveis remotos da Amazônia como as savanas úmidas de Roraima e isso contribui significativamente para as incertezas nas estimativas de emissão regional (Barbosa e Ferreira, 2004). Neste estudo estimou-se a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> das savanas úmidas do norte de Roraima, aumentando significativamente a densidade de medidas de fluxo neste tipo de habitat. Também investigamos os fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos) que contribuem para a variação nas taxas de emissão difusiva e ebulitiva neste habitat. Desta forma, contribuímos para o aperfeiçoamento da estimativa da emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para a atmosfera regional e conseqüentemente diminuir as incertezas a nível global.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Estimar a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, nas savanas úmidas de Roraima, levando-se em conta a influência de velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos.

### **2.2 Específicos**

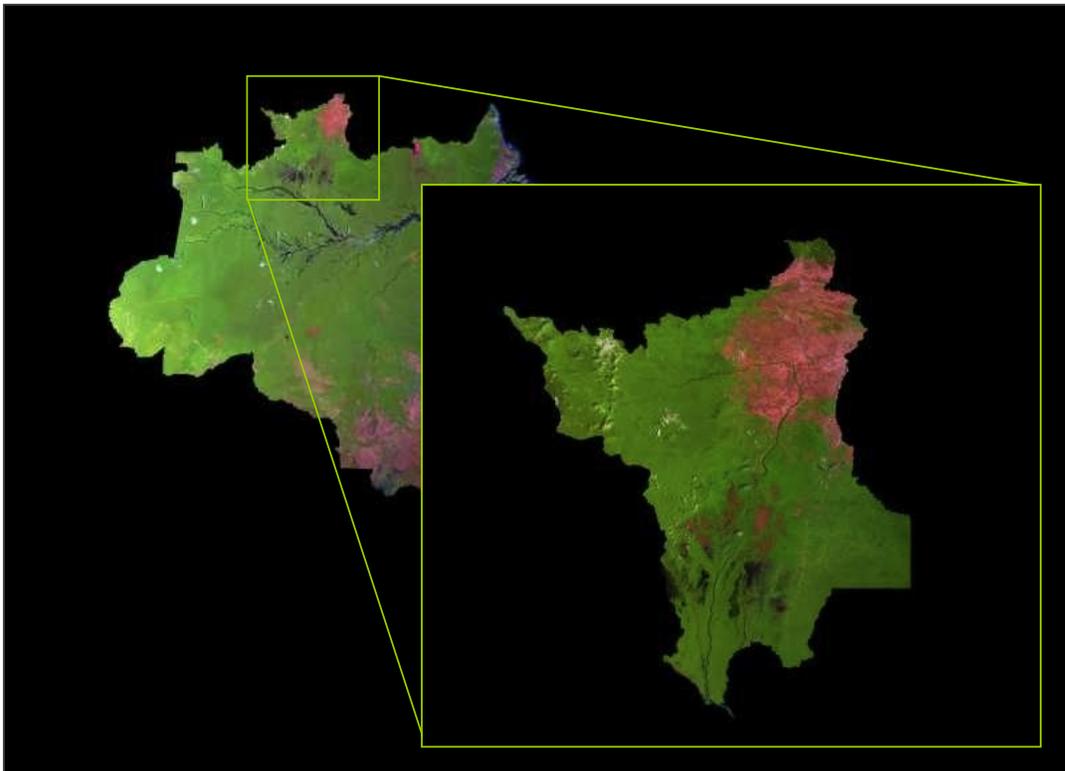
- Estimar a emissão difusiva de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>;

- Estimar a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> por ebulição;
- Investigar a influência de velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos sobre a emissão difusiva de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>;
- Investigar a influência de velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos sobre a ebulição de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>;
- Utilizar esses dados para estimar a emissão total de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> das savanas úmidas de Roraima e sua contribuição para a medida do fluxo regional destes GEEs.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 A área de estudo**

Roraima encontra-se no extremo norte da Amazônia brasileira, entre 5<sup>o</sup> 16'N – 1<sup>o</sup> 25'S e 58<sup>o</sup> 55'W – 64<sup>o</sup> 48'W, com 225.116km<sup>2</sup>, ocupa cerca de 2,6% do território brasileiro e 4,5% da Amazônia legal (IBGE, 1999). Faz fronteiras com a República Bolivariana da Venezuela, República Cooperativista da Guiana, os estados do Pará e do Amazonas. Seu nome é de origem indígena Roro ou Rora, que significa verde e Imã, que significa rocha ou monte (Costa e Souza, 2005). Segundo censo do IBGE 2010, o estado possui 450.479 habitantes, dividido em 15 municípios, dos quais 284.313 habitantes moram em Boa Vista (capital do estado). Seu espaço fitofisionômico (Figura 1) é dividido em: (1) Florestas, (2) Campinas e (3) Savanas, estas últimas conhecidas localmente como Lavrado (Miranda e Absy, 2000) é nessa região de savanas que encontram-se as savanas úmidas que foram assim definidas por Junk et al (2011) e selecionadas como objeto de estudo dessa pesquisa.



**Figura 1:** Fitofisionomias do estado de Roraima.  
Fonte: site FEMACT.

Os ambientes aquáticos de Roraima, assim como as savanas úmidas fazem parte da bacia do rio Branco (Junk et al, 2011), sendo influenciadas por ele, que por sua vez é influenciado pelo clima regional e pelos padrões de chuva, com pluviosidade anual mais alta e com maior número de dias de chuva no nordeste da bacia. Seu período chuvoso concentra-se entre abril e junho, no sudoeste e junho e agosto, no nordeste (Barbosa, 1997). Segundo Barbosa (1997) há três zonas climáticas na bacia do rio Branco: (a) tropical úmido com pequeno ou nenhum período seco no sudoeste (Af de Köppen), (b) tropical úmido com uma estação seca curta na região central (Am de Köppen) e (c) tropical com um período seco longo no nordeste (Aw de Köppen).

A bacia do rio Branco tem uma variedade de ambientes aquáticos naturais: igarapés, rios, lagos, várzeas, igapós, chavascals e buritizais, ocorrendo de 60m a 3000m de altitude acima do nível do mar (Ferreira et al, 2007). A construção desses ambientes naturais se deram ao longo de

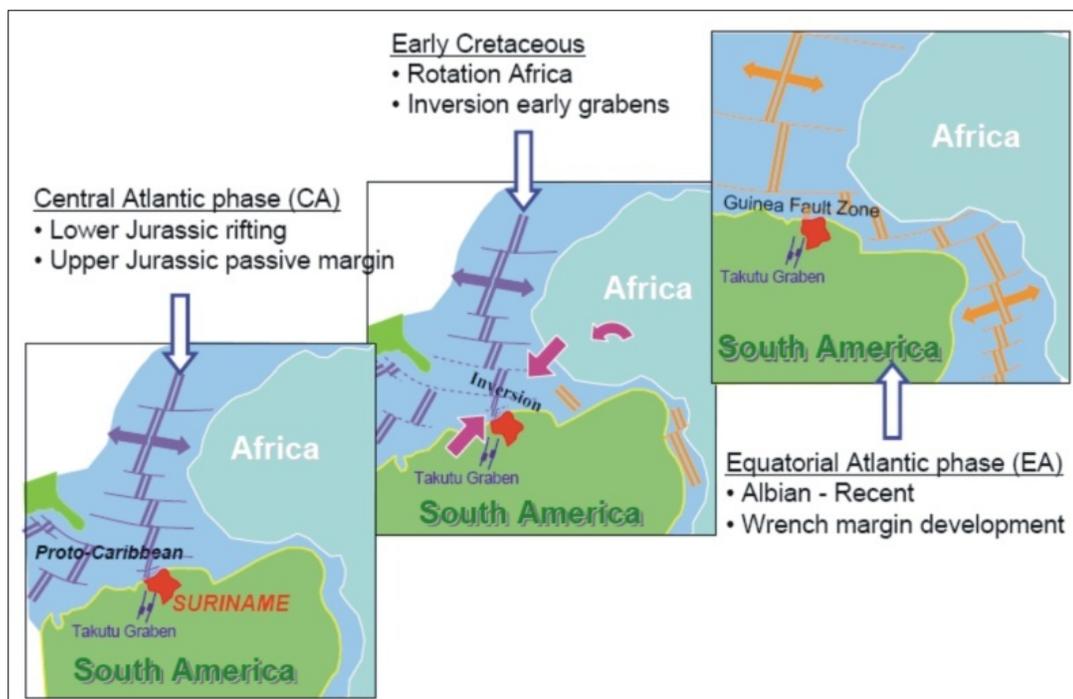
eventos tectônicos e às flutuações passadas do clima e da erosão (BRASIL, 1975; Carneiro-Filho, 1991; Schaefer e Vale Jr., 1997). A variação dos ambientes está encravada na formação Boa Vista, que é o resultado geomorfológico de uma erosão que nivelou (soterrou) o Graben do Takutu (Figuras 2 e 3), através de sedimentos gerados pelas intempéries do tempo sobre a formação Roraima (Schaefer e Vale Jr. 1997; Barbosa et al, 2007).

A formação Boa Vista é uma superfície praticamente plana datada do pré-cambriano (1,8 a 2,0 bilhões de anos) e o Graben do Takutu é uma extrusão causada pelo colapso tectônico que foi produzido por forças distensivas na crosta de terra no fim do Jurássico, quando a separação do supercontinente Gondwana começou (BRASIL, 1975).

Durante quase todo Terciário, a drenagem hidrográfica que forma hoje a bacia do rio Branco, desaguavam para o noroeste no Oceano Atlântico (Figura 3). Com uma carga grande dos sedimentos que estava sendo depositada ao longo de toda a cama anterior do Graben do Takutu (Schaefer e Dalrymple, 1996), a drenagem inteira desta área foi capturada pelo rio Branco, que flui, hoje, para o rio Negro, donde é o maior afluente (Ferreira et al., 2007).

A drenagem indeterminada que caracterizava esta área durante o processo acima resultou no desenvolvimento de uma grande área alagável sobre a formação Boa Vista, que persiste até hoje devido a seus solos hidromórficos que predominam na região (Ferreira et al., 2007).

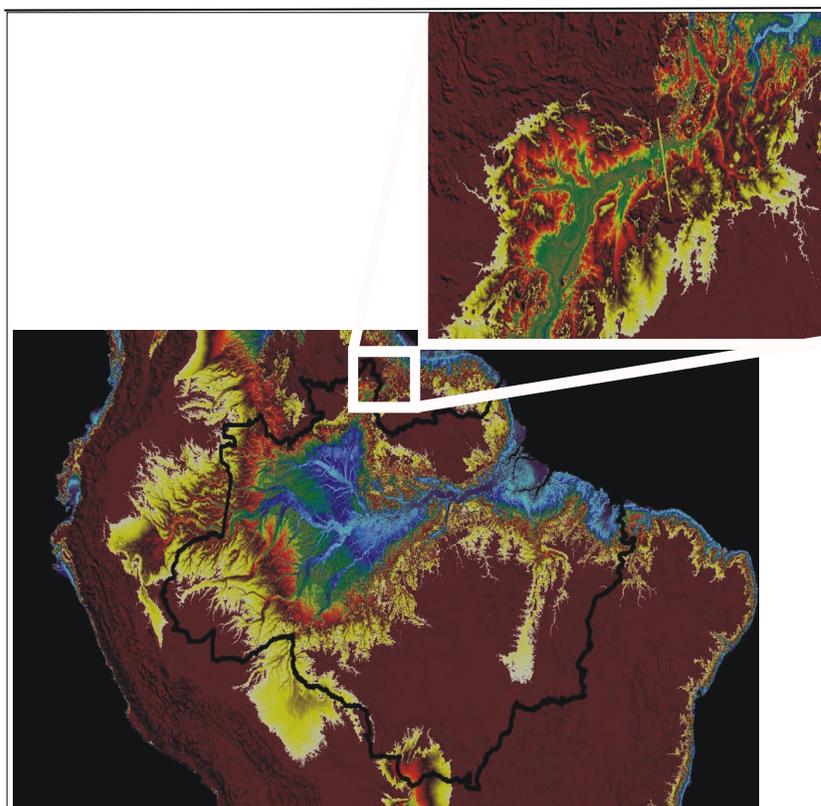
Sobre a formação Boa Vista encontra-se o maior bloco de savanas da Amazônia brasileira – o Lavrado, que está situado no complexo paisagístico Rio Branco – Rio Rupununi, distribuído em 54.000 km<sup>2</sup> entre o Brasil e a Guiana (Eden, 1970; BRASIL, 1975).



**Figura 2:** Formação do Graben do Tacutu,  
 Fonte: Barbosa et al., 2007.

O lado brasileiro compreende  $\sim 39.800 \text{ km}^2$  estabelecidos no nordeste do Estado de Roraima (Barbosa e Fearnside, 2005), incluindo diversos ecossistemas que formam um grande mosaico de fisionomias vegetais que podem ser associados a diferentes tipos de solos (Miranda et al, 2003) ou grupos animais, como cupins (termitas), tamanduá-bandeira (Vitt e Carvalho, 1995).

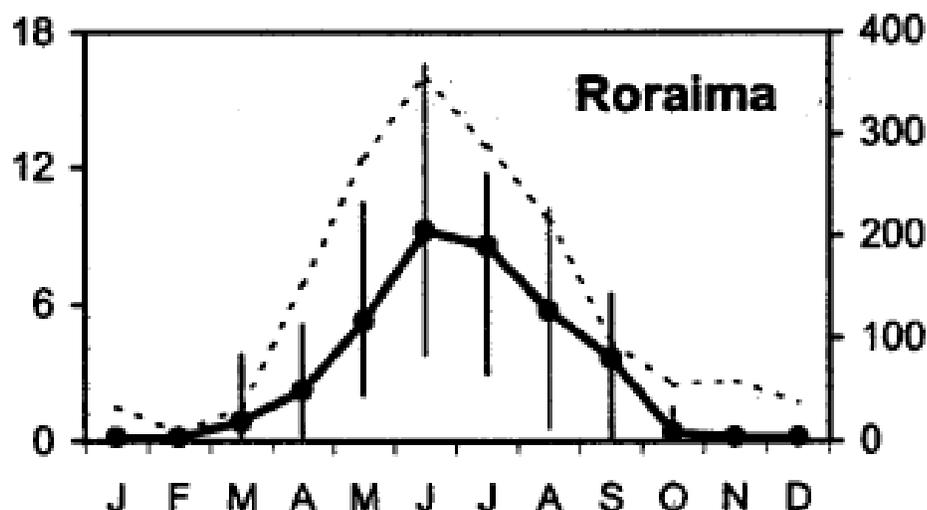
Segundo Barbosa e Fearnside (2005) e Barbosa et al (2007), uma das principais características do Lavrado são as estações bem definidas (seca de outubro a março e chuvosa de abril a setembro) com pluviosidade anual entre 1000 e 2000mm, temperatura média anual entre 25 - 27°C, solos pobres com disponibilidade mineral escassa e o fogo recorrente causado, geralmente, por atividades antrópicas.



**Figura 3:** Resquícios do Graben do Tacutu, demonstrando sua antiga ligação com o mar do caribe.  
Fonte: Barbosa, et al. 2007.

Quando se trata especificamente do objeto de estudo desse trabalho, as planícies inundáveis de Roraima, que de acordo com Junk et al (2011) compreendem as savanas úmidas ou lavrados, caracterizam-se por “campos” dominados por gramíneas (Poaceae e Cyperaceae) em superfície plana com pequenas depressões onde se formam lagos e pequenos cursos d’água (igarapés) ladeados por veredas de buritis (*Mauritia flexuosa*), que respondem ao fluxo de inundação da bacia do rio Branco.

A variação da área alagada nas savanas úmidas acompanham a variação da cota do rio Branco, que por sua vez é influenciado pela chuva em sua bacia. Segundo Hamilton et al (2002), existe uma relação direta entre a cota do rio Branco (Figura 4), a chuva em sua bacia e a área alagada nas savanas úmidas.



**Figura 4:** Relação entre a cota do rio Branco e a precipitação em sua bacia. O eixo da esquerda que corresponde a linha cheia representam a cota do rio Branco (m), colhida na estação da Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAER), em Boa Vista/RR e o eixo da direita, representado pela linha pontilhada representam a pluviosidade (mm) colhida na estação metereológica de Boa Vista/RR.  
 Fonte: Hamilton et. al. (2002).

Essa área de estudo está situada em uma zona de tensão ecológica, onde as florestas tropicais úmidas mudam de forma abrupta para vegetação aberta (Cordeiro et al, 2008). Estas savanas cobrem extensas porções ao Nordeste do Estado de Roraima. O limite floresta-savana está localizado entre 2° a 5° Latitude Norte e 59° a 62° Longitude Oeste, onde se encontra um mosaico de formações vegetais, com enclaves de savanas em áreas de florestas e vice-versa (Sanaiotti, 1997). O clima atual é úmido e marcado por estação seca prolongada de até 6 meses (Barbosa, 1997). De acordo com (Cordeiro et al, 2008) a região encontra-se inserida entre dois centros de alta precipitação, a saber: As Guianas que recebem diretamente a umidade atlântica trazida pelos ventos alísios de leste e nordeste e a Amazônia Central, onde se encontra o máximo da zona de convergência intertropical (ZCIT). Considerando-se um nível mais amplo, o Lavrado está situado em um corredor seco de orientação SE-NE, que corta a planície amazônica entre o sul do Estado do Pará e a região centro-leste do Estado de Roraima (Barbosa, 1997).

A região estudada é a mais úmida deste corredor, que mostra um gradiente de precipitação anual de nordeste para sudoeste, saindo das formações de savana (1100 a 1400mm/ano), atravessando uma larga faixa de transição savana-floresta estacional (1700 a 2000mm/ano) e alcançando as florestas úmidas (2000 a 2300mm/ano) no sul do estado (Barbosa, 1997).

A região lacustre em estudo está localizada, entre os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Figura 5), compreendendo uma área de aproximadamente 160km<sup>2</sup>. Esta região se situa à margem direita do rio Branco, um rio de águas brancas, na classificação limnológica de Sioli (1984), mas que vem sendo classificado, recentemente, como um rio de águas claras ou mistas por Junk (2010). Trata-se de uma planície com pequenas depressões, onde se acumulam água. Essa região encontra-se sob o clima tropical úmido (Aw na classificação de Köppen). O período chuvoso, no Lavrado, inicia-se em abril e se estende até setembro, já o período de seca compreende os meses de outubro a março (Barbosa, 1997). O mês de janeiro em geral é o mês mais seco, com precipitação média inferior a 60mm.

A paisagem da região lacustre estudada está representada por a uma superfície plana e baixa denominada por Franco et al (1975) de Pediplano do Rio Branco - Rio Negro. Nesse pediplano as altitudes variam entre 85 e 140 metros acima do nível do mar (Costa, 1999). A vegetação dominante é do tipo savanas (Veloso et al, 1975; Miranda e Absy, 1997), com estrato herbáceo representado pelas Poaceae dos gêneros *Andropogon sp*, *Trachypogon sp*, *Aristida sp*, *Axonopus sp*, e *Mesosetum sp*. Frequentemente, intercalam-se espécies arbustivas ou arbóreas, sendo as primeiras mais abundantes e comuns as do cerrado brasileiro. As mais frequentes são: a *Curatella americana* (Dilleniaceae) e as *Byrsonima ssp.*(Malpighiaceae) (Miranda, 1999).



**Figura 5:** Área de coleta.

Fonte: Google Earth, com adaptações.

A *Mauritia flexuosa* (Arecaceae), conhecida popularmente como buriti, é também muito comum nesta paisagem. Ela ocupa as áreas brejosas e matas de galeria dos igarapés, formando as veredas similares as do Brasil Central. Estes brejos e igarapés assim como também os lagos estudados se situam na bacia do rio Branco.

A geologia da área está representada pelos sedimentos cenozóicos da Formação Boa Vista (Barbosa e Ramos, 1959; Melo et al 1978). De acordo com Montalvão et al (1975) ela é constituída por sedimentos predominantemente arenosos, mal selecionados, com argilas arenosas e níveis de cascalhos intercalados, com pacote de sedimentos, de acordo com Reis et al (2001) de 15 metros de espessura máxima na área de estudo.

### 3.2. Desenho experimental

Para estimar as emissões de GEE nas savanas úmidas de Roraima e investigar a influência de fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos) sobre estas emissões, as medidas de emissões e essas variáveis

ambientais foram realizadas num gradiente transversal ao rio Branco, partindo do município de Boa Vista em direção ao município de Alto Alegre. Esses dois municípios se distanciam cerca de 86 km. As rodovias estaduais: RR 205, RR 452, RR 343 e RR 323, facilitam o acesso a essa área que possui uma área de  $\sim 160\text{km}^2$  (Figura 5). A área amostrada compreende uma densa rede de lagos e outros ambientes alagados, especialmente igarapés e seus igapós.

A maioria dos lagos na área de estudo são temporários que diminuem consideravelmente seu volume durante o período de seca. A maioria dos lagos pode secar completamente entre os meses de dezembro e janeiro, que corresponde ao pico da seca do rio Branco e conseqüentemente dessa região. No entanto, esses lagos podem encher tanto que em alguns anos se tornaram um grande lago, como aconteceu no ano de 2005 ou ainda se unirem formando poucos grandes lagos no período do pico da cheia dessa região, o que acontece durante os meses de Julho e Agosto, anualmente.

As medidas de emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  foram realizadas em 80 lagos dessa área. Esses lagos estão distribuídos em 4 (quatro) faixas. Cada área fica a cerca de 20km de distância do rio Branco, a saber: a primeira faixa corresponde a área que varia de 0 a 20km perpendiculares ao rio Branco, em direção ao município de Alto Alegre; a segunda faixa corresponde a área que varia de 20 a 40km perpendiculares ao rio Branco, em direção ao município de Alto Alegre; a terceira faixa corresponde a área que varia de 40 a 60km perpendiculares ao rio Branco, em direção ao município de Alto Alegre; e a quarta faixa corresponde a área que varia de 60 a 80km perpendiculares ao rio Branco, em direção ao município de Alto Alegre.

A divisão da área total em faixas garante que as coletas dos gases de efeito estufa ocorram distribuídos por toda a área de estudo descrita anteriormente. As coletas foram mensais

aconteceram nos meses de novembro e dezembro de 2011, janeiro, fevereiro, março e maio de 2012, agosto, setembro e outubro de 2012. Nos meses de junho e julho de 2012, por motivos logísticos não foi possível realizar as coletas.

Em cada ponto de coleta, nos oitenta lagos amostrados, foram realizadas, mensalmente, de novembro de 2011 a outubro de 2012, exceto junho e julho de 2012:

- Estimativas de emissão difusiva usando duas câmaras flutuantes, sobre a superfície dos lagos. A partir de cada câmara foram retiradas 4 (quatro) alíquotas de gases capturados pelas câmaras em 4 momentos diferentes: no momento em que a câmara era colocada na água, cinco minutos depois de da incubação das câmaras, dez minutos após a incubação da câmara e quinze minutos depois da incubação das câmaras;
- Estimativas de emissão ebulitiva usando funis invertidos que foram afixados dentro dos lagos. Foram incubados 6 (seis) funis invertidos em cada lago, buscando a variação de ambientes dentro do lago. O período de incubação de cada funil foi de 24 (vinte e quatro) horas, ou seja, um dia;
- coletas de água e ar para determinação da concentração de GEE; e
- medias ambientais: velocidade do vento em metros por segundo, temperatura da água em graus Celsius , concentração de oxigênio em miligramas por litro e o nível de água em metros.

### 3.3 Coleta de gases

A magnitude e a direção do fluxo difusivo de gás são dependentes da diferença de concentração entre a água e a atmosfera e dos processos de transporte na interface ar-água, que são influenciados por: velocidade do vento, temperatura da água, concentração de oxigênio e profundidade dos lagos. Para estimar as emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  foi necessário coletar amostras para determinar as concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  no ar atmosférico e na água. As emissões difusivas de  $\text{CO}_2$  e do  $\text{CH}_4$ , foram estimadas diretamente utilizando de câmaras de difusão (Figura 6), enquanto a emissão por bolhas foi estimada diretamente utilizando-se Funis (Figura 7). Esses equipamentos foram produzidos de forma alternativa, baseados em equipamentos elaborados por Kemenes em um estudo de emissão de gases em hidroelétricas no ano de 2007. O funcionamento desses instrumentos está descrito a seguir.



**Figura 6:** Câmara flutuante de coleta de GEE.



**Figura 7:** Funil invertido de coleta de GEEs.

### **a) Medida de emissão difusiva com câmara flutuante**

As taxas de emissão de CO<sub>2</sub> e de CH<sub>4</sub> foram estimadas com câmaras flutuantes (Figura 6). As câmaras funcionam como um "balde invertido", mantido sobre uma superfície do lago de aproximadamente 1200cm<sup>2</sup> (0,12m<sup>2</sup>). A borda da câmara de aproximadamente 6cm de altura fica submersa na interface ar-água, cujo objetivo dessa borda que fica submersa é de evitar o vazamento dos gases na periferia da câmara. A cúpula da câmara que fica sobre a interface ar-água possui volume aproximado de 24,3 litros que permanece fora da água para coleta dos gases que se difundem nessa interface. Para retirada dos gases acumulados nas câmaras se utilizou de seringas de 60ml, acopladas a agulhas, que foram utilizadas para se ligarem a extremidade de uma válvula que encontrava-se previamente conectada a câmara por um tubo de 2mm de diâmetro com válvulas contra vazamento em suas extremidades.

Enquanto as câmaras permaneceram na água, por quinze minutos, as coletas de gases acumulados no interior das câmaras de difusão aconteceram em quatro momentos: (a) na introdução da câmara sobre a água, denominada nesse trabalho de t<sub>0</sub> (tempo 0); (b) cinco minutos depois da permanência da câmara sobre a água, denominada nesse trabalho de t<sub>1</sub> (tempo 1); (c) dez minutos depois da permanência da câmara sobre a água, denominada nesse trabalho de t<sub>2</sub> (tempo 2); e (d) quinze minutos depois da permanência da câmara sobre a água, denominada nesse trabalho de t<sub>3</sub> (tempo 3).

Cada coleta de gás descrita acima foi denominada, nesse trabalho de uma alíquota. Logo após a coleta das alíquotas, cada uma delas era imediatamente transferida para frascos de 30ml (Figura 8), hermeticamente fechados com tampa de butil densa, previamente lavados com ácido e posteriormente preenchidos com água destilada. Essa água destilada que preenchia os frascos foi

substituída pelos gases coletados a partir das câmaras de difusão flutuantes. A transferência foi feita utilizando-se duas agulhas: uma das agulhas era conectada a seringa de 60ml, que foi utilizada para retirar os gases de dentro das câmaras; a seringa acoplada a agulha era introduzida na tampa de butil do frasco com o objetivo de enviar para dentro do frasco a alíquota dos gases coletados nas câmaras; no entanto, para o gás da seringa entrar era necessário introduzir no frasco, através de sua tampa, uma agulha, sem seringa, por onde a água destilada que preenchia o frasco era expulsa enquanto o gás tomava seu lugar no frasco, para esse processo se completar era necessário ainda que o frasco ficasse com sua extremidade superior para baixo, ou seja, de cabeça para baixo.



**Figura 8:** Frascos utilizados para coleta dos gases de feito estufa.

**Fonte:** Arquivo pessoal Sewbert Jati

Além do mais, foram coletadas amostras de gases da atmosfera, a um metro da superfície do lago e da superfície da água em cada lago com a finalidade de obter uma estimativa alternativa de fluxo, que pode ser utilizado para cálculos referentes a lei de Fick. As concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> no ar foram coletadas diretamente sobre os lagos enquanto que para coletar as concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na água utilizou-se “head-space”, que consiste na seguinte sequência: 30ml de água foram coletados em uma seringa de 60ml de capacidade, os 30ml restantes foram preenchidos com ar atmosférico. Em seguida, a seringa de 60ml foi agitada por 1 minuto para que os GEE da água entrem em equilíbrio com o ar dentro da seringa. Após esse processo, os 30ml do ar dentro da seringa foram transferidos para os frascos de tampados com tampa butil e lacres de alumínio de acordo com o processo descrito anteriormente.

O conteúdo desses frascos da concentração de gases a partir da água, depois de analisados no cromatógrafo gasoso foram corrigidos pelos fatores de partição utilizados por Belger et al (2010), que são de 1,667 para CO<sub>2</sub> e de 1,04 para CH<sub>4</sub>. Esse fator é importante haja vista o método head-space levar a um equilíbrio entre a concentração de gases na água e na atmosfera dentro da seringa, ou seja, esse método não retira totalmente os gases de efeito estufa que estão diluídos na água e sim pela turbulência causada pela agitação da seringa ficam em equilíbrio com a água que está dentro da seringa.

#### **b) Medida da taxa de ebulição com Funis**

Foram utilizados seis funis invertidos com o intuito de captura de bolhas de GEE. Esses Funis invertidos foram submersos nos lagos, sendo totalmente desareados para impedir a contaminação do ar atmosférico e permaneceram submersos por um período de 24 horas. Foi

escolhido esse período a partir dos resultados obtidos por Belger et al (2010) em seus estudos que em um período de incubação de 24 horas, os funis invertidos foram responsáveis por cerca de 80% das emissões de  $\text{CH}_4$  de seus estudos. No entanto podem ocorrer formação de bolhas de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , sendo mais comuns as de  $\text{CH}_4$ . Cada funil media 25cm de diâmetro, em sua extremidade maior e teve uma seringa de 60ml acoplado em sua extremidade menor, com o auxílio de uma borracha para vedação dessa extremidade evitando vazamentos (Figura 7). Essa seringa funciona como uma extensão do funil onde o gás fica armazenado para posterior acoplamento de uma outra seringa de 60ml para coleta das bolhas de gases emitidos durante a incubação do funil que durou 24 horas.

Os seis funis foram colocados em ambientes de profundidades variáveis, abrangendo ambientes de água aberta e/ou colonizado por macrófitas. Esse procedimento foi necessário para garantir o englobando das variações de ambientes em cada lago, com o intuito de verificar o efeito dessas variações sobre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

O armazenamento de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  foram feitos também em frascos como os descritos anteriormente para as coletas das alíquotas dos gases provenientes das câmaras flutuantes. No entanto, para o cálculo das emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  fora necessário anotar o volume de gás capturado no funil que pode ultrapassar os 30ml dos frascos.

Após as coletas, os frascos foram transportados até a cidade de Manaus onde, no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA foram analisadas no Cromatógrafo gasoso.

### 3.4 Análises Cromatográficas

As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA, usando uma cromatógrafo de gás (Figura 9) com duplo detector (FID/ECD), ou seja com detectores para leitura de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> a partir de padrões certificados desses gases, onde todas as amostras foram analisadas para se descobrir as concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.



Figura 9: Cromatógrafo gasoso utilizado na pesquisa.

Fonte: Arquivo pessoal Sewbert Jati

### 3.5 Cálculo das emissões difusivas

Utilizando os dados das câmaras flutuantes; a taxa de emissão difusiva (F) foi estimada pela equação:

$$F = B \times V / A$$

Onde,

F = valor da taxa de emissão difusiva de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, em mgC/m<sup>2</sup>/dia;

B = valor da inclinação da reta da regressão entre concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e o tempo, em mgC/l/dia;

V = valor do volume da câmara flutuante, em litros;

A = valor da área da câmara flutuante, em m<sup>2</sup>.

### 3.6 Cálculo da emissão ebulitiva

Utilizando-se os dados referentes aos funis invertidos, a emissão ebulitiva foi estimada pela seguinte equação:

$$F = (v \times c) / (t \times A)$$

Onde,

F = valor da taxa de emissão ebulitiva de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, em mgC/m<sup>2</sup>/dia

v = valor do volume de gás capturado pelo funil, em litros

c = valor da concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, em mgC/l

t = valor do tempo de incubação do funil invertido, em dias.

A = área do funil, m<sup>2</sup>

### **3. 7 Metodologia para variáveis ambientais**

As variáveis ambientais analisadas nesse estudo foram: (a) a velocidade dos ventos sobre os lagos, (b) a profundidade dos lagos, (c) a Temperatura da água superficial dos lagos e (d) a concentração de Oxigênio na superfície do lago e no fundo do lago.

A velocidade de vento foi medida a uma altura de 1 metro acima da superfície da água durante o período de cada incubação com um anemômetro portátil marca ICEL, modelo NA-3010, durante um período de 15 minutos, ou seja, enquanto estava acontecendo as coletas das alíquotas do gás provenientes das câmaras flutuantes; durante esse momento, o anemômetro integrou as velocidades do vento, sendo que a média da integração da velocidade do ventos fornecida pelo aparelho nesse período de 15 minutos foi utilizada para verificar as relações dessa variável ambiental sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.

A profundidade de água no local foi realizada com um profundímetro, adaptado a partir de uma trena de fibra de vidro com 5 metros de comprimento, da marca STARFER com um peso de metal em sua ponta para afundar, sendo que essa profundidade era medida no ponto onde estavam acontecendo as coletas de gases com as câmaras flutuantes dentro do lago. A profundidade foi colhida após coleta dos gases provenientes das câmaras flutuantes, a fim de se evitar a liberação de bolhas de ar que poderiam estar presas no fundo, sendo liberadas do fundo dos lagos pelo impacto do peso sobre o solo.

A temperatura superficial da água foi medido com o auxílio de uma sonda multiparâmetros marca YSI, modelo 55-50FT, sendo que o eletrodo da sonda permanecia na água até sua estabilização.

A concentração do oxigênio dissolvido na superfície da água dos lagos foi medido com uma sonda multiparâmetros marca YSI, modelo 55-50FT, sendo que o eletrodo da sonda permanecia na água, próximo a superfície até sua estabilização.

A concentração do oxigênio dissolvido no fundo da água dos lagos foi medido com uma sonda multiparâmetros marca YSI, modelo 55-50FT, sendo que o eletrodo da sonda permanecia na água, no fundo do lago até sua estabilização.

A análise estatística da influência da velocidade do vento, profundidade do lago, temperatura superficial da água, concentração de oxigênio da superfície dos lagos e concentração de oxigênio do fundo dos lagos, ou seja, variáveis ambientais em relação as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, foram feitas através de Análise de variância (ANOVA) uma Análise de Correlação Canônica (CCA), com o intuito de verificar se a diferença de cada variável era suficiente para influenciar nas variações das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Escolheu-se esse tratamento pois segundo Ayres et al (2007), a CCA indica quais variáveis influenciam positivamente ou negativamente nas emissões, além de diferenciá-las quanto a magnitude, o peso de cada variável, a contribuição relativa de cada variável na relação entre as variáveis ambientais desse estudo e as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.

A área alagada total na região do estudo foi inferida através da relação estabelecida por Hamilton et al (2002) em seu trabalho que verificou relações entre as cotas do rio Branco, em metros, colhidas na estação da CAER (Companhia de Águas e Esgotos de Roraima), em Boa Vista e a área alagada nas savanas úmidas, em quilometro quadrado (km<sup>2</sup>), com a diferença de um mês entre a cota do rio Branco e a área alagada do Lavrado.

### 3.8 Extrapolação das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>

As emissões anuais de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para toda região do Lavrado foram estimadas a partir da soma das medidas de emissões mensais multiplicadas pela área de inundação que foi desenvolvida para a região por Hamilton et al (2002). No trabalho de Hamilton e seus colaboradores foi desenvolvida uma regressão que utilizou a quota do rio Branco, em metros, colhidos na estação da CAER, em Boa Vista, pra calcular a área total alagada, em Km<sup>2</sup>, no Lavrado.

A regressão supra citada foi criada por Hamilton e seus colaboradores, em 2002 a partir da utilização de dados históricos das cotas do rio Branco, em metros, comparando-as com séries históricas de imagens de satélite entre o período que foi de 1979 até 1987. Ressaltasse que no estudo de Hamilton et al (2002), teve como uma de suas conclusões que para o calculo real da área alagada, necessita-se utilizar a cota do rio Branco de um mês anterior para predizer a área de alagação do mês seguinte, por exemplo, utiliza-se a média da cota do rio Branco de janeiro para predizer a média da área de alagação em fevereiro e assim sucessivamente.

A regressão utilizada por Hamilton et al (2002) foi  $Y = A + BX + CX^2$ , onde:

Y = área inundada em km<sup>2</sup>;

X = cota observada, há um mês, em metros;

e os valores A (-164,52), B (217,70) e C (271,92) são valores que provem das regressões feitas por Hamilton e seus colaboradores, de acordo com a Tabela que encontra-se na Figura 8, copiada de seu trabalho original.

**Table 3. Empirical Relationships to Predict Flooded Area From River Stage<sup>a</sup>**

Floodplain Region (No. of Data Pairs)	River Stage Station (River Name)	Range of Stage (1979–1987), m	Lag, (months)	Regression Equations				
				$R^2$	$A$	$B$	$C$	$D$
Amazon mainstem (102 dates)	Manaus (Negro River)	17.3–28.9	0	0.87	104,744	–10,851	351	–
Llanos de Moxos: rising stage (54)	Porto Velho (Madeira)	4.3–17.2	0	0.90	3,139	1,296.1	–104.04	16.423
Llanos de Moxos: falling stage (48)	Porto Velho (Madeira)	3.9–15.8	0	0.90	9,916	51.109	193.06	–
Bananal: rising stage (42)	Luiz Alves (Araguaia)	3.1–8.4	0	0.83	13650	139.78	–0.36308	$3.2348 \times 10^{-4}$
Bananal: falling stage (58)	Luiz Alves (Araguaia)	2.7–8.2	0	0.92	5792	15.707	–0.11138	$1.9026 \times 10^{-4}$
Llanos del Orinoco (84):	Ciudad Bolívar (Orinoco)	2.3–17.2	0	0.90	10784	–2388.5	423.34	–
Roraima (102)	Boa Vista (Branco)	0.4–7.0	1	0.81	–164.52	217.70	271.92	–
Pantanal (102)	Ladário (Paraguay)	1.3–6.4	1.5 <sup>b</sup>	0.90	–17,309	18,520	–	–

<sup>a</sup>Flooded area includes open water area of lakes and rivers. These equations are derived from the data in Figure 7 and can be employed to extend the inundation record over the period of stage observations, provided that the stage remains within the range of the 1979–1987 period. The coefficients of determination ( $R^2$ ) provide an indication of the degree to which water levels in the major rivers associated with these floodplains reflect the extent of seasonal inundation. Time lags were incorporated when they improved the prediction; for example, a lag of 1 month means that the predictive relationship employed the mean river stage from the following month to predict mean flooded area in a particular month. The regressions of inundated area ( $Y$ , in  $\text{km}^2$ ) on stage ( $X$ , in m) take the form of  $Y = A + BX + CX^2 + DX^3$ .

<sup>b</sup>For the Pantanal, the regression uses the mean stage of the following 2 months because of the long time delay for passage of the flood across the region and the downstream location of the stage station [Hamilton et al., 1996].

**Figura 10:** Tabela que descreve a predição entre área alagada e cota do rio no trabalho de Hamilton et al, 2002.

**Fonte:** Hamilton et al, 2002.

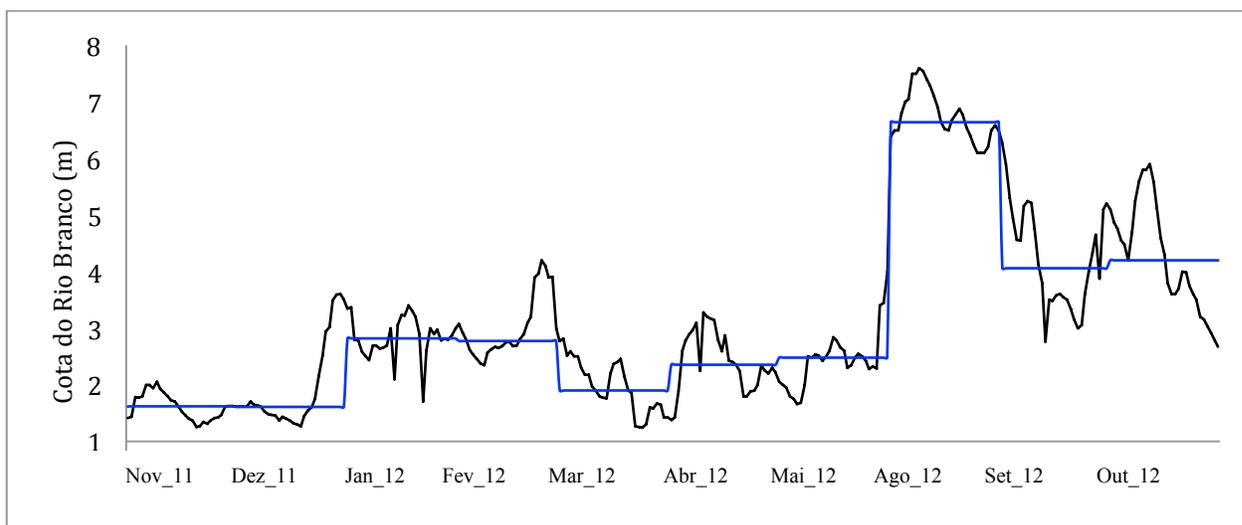
As estimativas feitas nessa pesquisa levaram em consideração os resultados das medidas realizadas diretamente em campo, através das câmeras flutuantes e/ou dos funis invertidos, calculando as emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  provenientes dos gases capturados por esses aparatos. As emissões médias mensais foram multiplicadas pelas médias da área total inundada corresponde ao mês de coleta, estimada pelo modelo estabelecido por Hamilton et al (2002) a partir das médias mensais das cotas do rio Branco, em Boa Vista, fornecidas pelo escritório da CAER.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Parâmetros avaliados no trabalho

#### *Variação hidrológica*

A cota do rio Branco variou de  $1,61\text{m} \pm 0,582\text{m}$  em dezembro de 2011 a  $6,64\text{m} \pm 0,201\text{m}$  em agosto de 2012. A Figura 9, a seguir demonstra a variação da cota do rio Branco no período do trabalho, excluindo-se os meses de junho e julho de 2012, onde as coletas não foram realizadas.



**Figura 11:** Variação da cota do Rio Branco, em metros. Linha azul (média mensal) e linha preta (diária).

As cotas registradas durante as coletas foram usadas junto com a relação do Hamilton et al (2002) para estimar a área alagada das savanas úmidas durante a coleta, conforme indicado na tabela a seguir, na última coluna da Tabela 1. Entre parênteses encontra-se a porcentagem da área total alagada na savana úmida, partindo-se do princípio que a área total da savana úmida de Roraima é de aproximadamente  $39.800\text{km}^2$  (Barbosa et al, 2007). A partir daí calculou-se a área

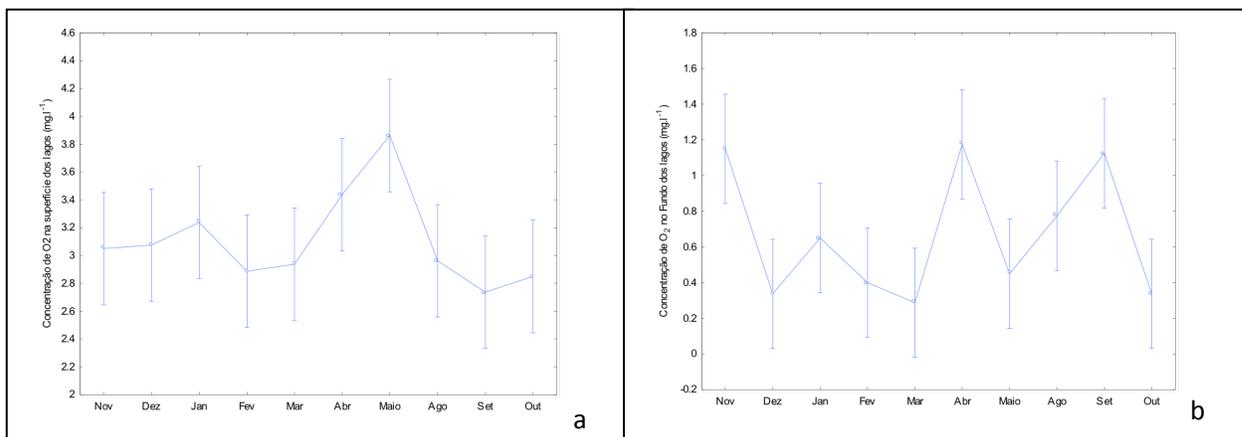
alagada, sendo que para o calculo utilizou-se a média mensal da variação da cota do rio Branco, para se estabelecer a média mensal da área alagada equivalente.

**Tabela 1:** Relação entre a cota do rio Branco(m) com a área alagada nas savanas úmidas, utilizando-se a relação estabelecida no trabalho de Hamilton et al (2002).

Mês/Ano	Cota do Rio Branco (m)	Área Alagada da Savana Úmida (Km <sup>2</sup> )
Novembro / 2011	1,62m± 0,0578m	2.142,76 (5,38%)
Dezembro / 2011	1,61m± 0,582m	901,78 (2,67%)
Janeiro / 2012	2,82m± 0,134m	890,82 (2,24%)
Fevereiro / 2012	2,775m± 0,319m	2.611,81 (6,56%)
Março / 2012	1,9m± 0,222m	2.533,55 (6,37%)
Abril / 2012	2,355m± 0,277m	1.230,74 (3,09%)
Mai / 2012	2,48m± 0,258m	1.856,24 (4,66%)
Agosto / 2012	6,64m± 0,201m	9.451,92 (23,75%)
Setembro / 2012	4,06m± 0,874m	13.269,85 (33,34%)
Outubro / 2012	4,2m± 0,919m	5.201,56 (13,07%)

### *Estratificação do oxigênio e temperatura na água*

Os lagos estudados possuem a extensão variando entre 0,5 e 20 hectares: 62% deles apresentam área menor que 5 hectares. O oxigênio dissolvido na água diminuiu com a profundidade, variando entre 4,6 a 1,4mg.l<sup>-1</sup> na superfície da água e 2,1 a 0,0mg.l<sup>-1</sup> no fundo do lago, com médias respectivas de 3,1 ±0,62 mg.l<sup>-1</sup> e 0,67 ±0,54 mg.l<sup>-1</sup>. Ocorreu a formação de hipolímnio anóxico em 7 dos 80 lagos, o que equivale a 8,75% dos lagos. Além do mais, houve diferença significativa das médias do O<sub>2</sub> dissolvido tanto na superfície dos lagos (ANOVA gl = 9, p = 0,009) quanto no fundo dos lagos (ANOVA gl = 9, p = 0,0001). A figura a seguir representa essas variações.



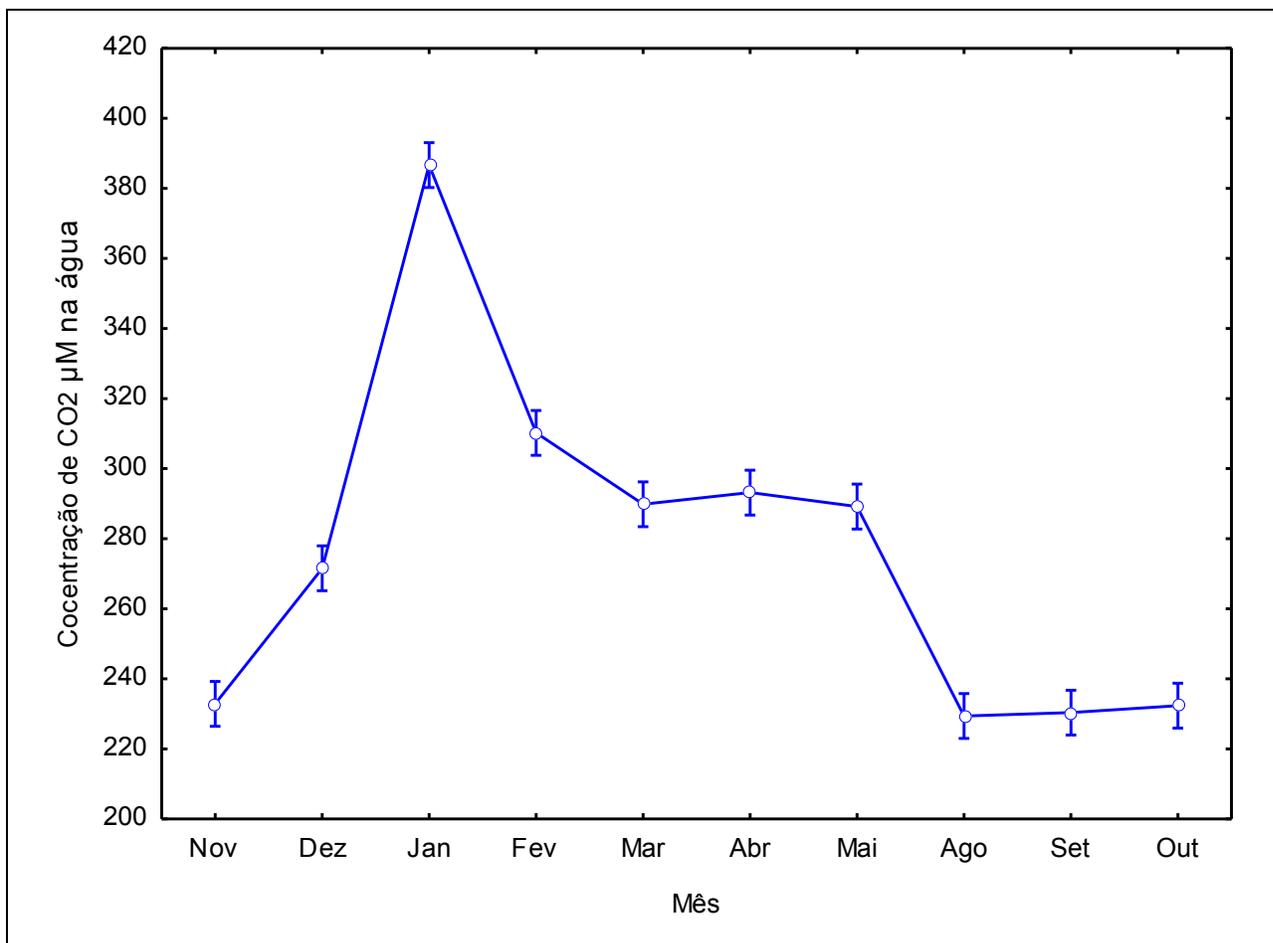
**Figura 12:** Variação das médias de O<sub>2</sub> ao longo dos meses na superfície dos lagos (a) e no fundo dos lagos (b).

A temperatura da água variou de 21,5 a 35,2°C durante o período de coleta, com média de 25,9 ±3,33°C. Houve diferença significativa entre os meses de coleta (ANOVA gl = 9, p < 0,0001). Já a profundidade dos lagos variou de 0,45 a 2,3m com média de 0,64 ±0,23m.

## 4.2 Emissão de GEEs e a influência de variáveis ambientais

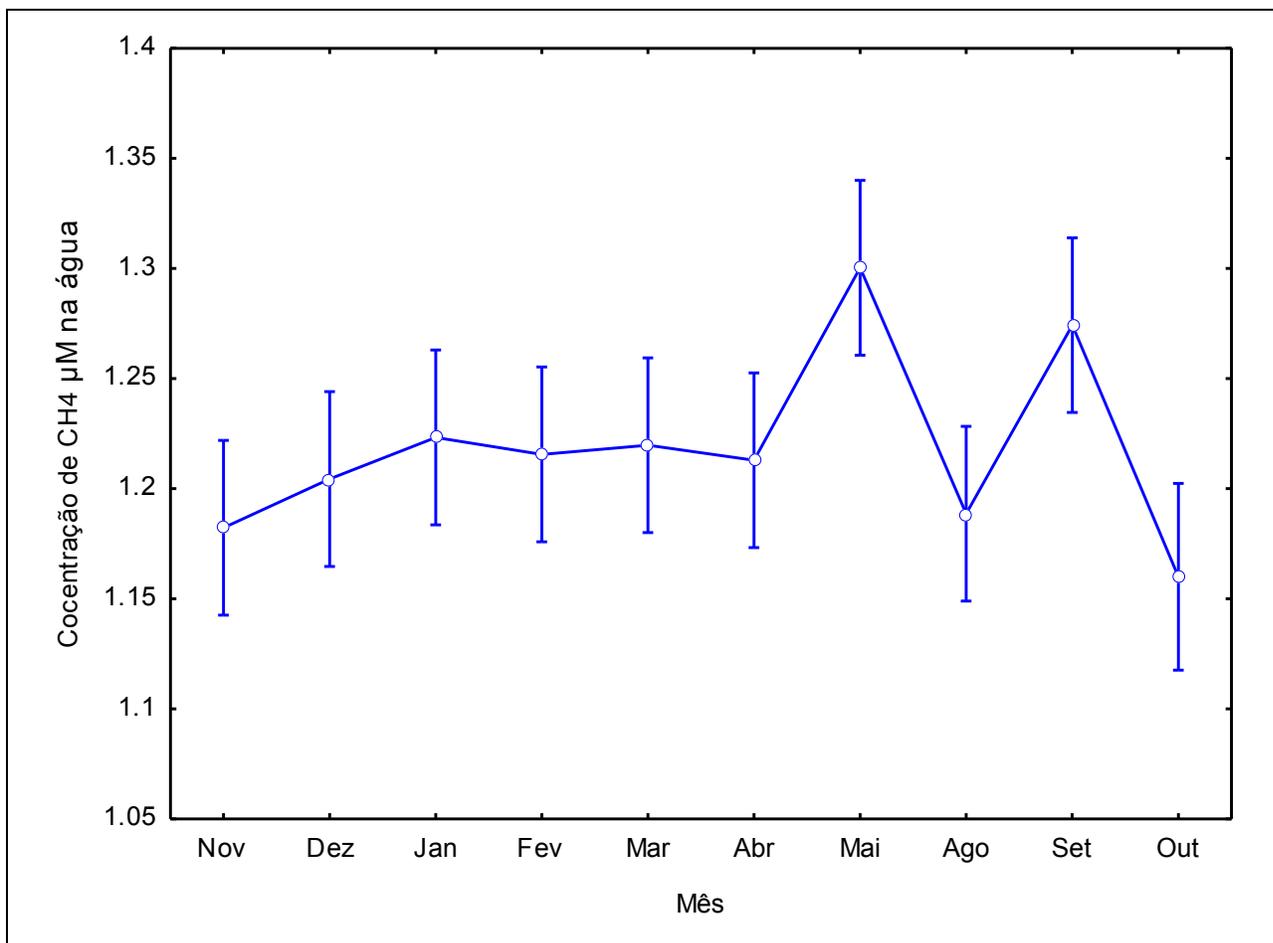
### 4.2.1 Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dissolvidos na água.

Nos 80 lagos as concentrações de CO<sub>2</sub> dissolvidos na água variaram, depois de corrigidos pelo fator de 1,667 (partição utilizado por Belger et al, 2010) foi de 220,616 a 404,271µM com média de 279,052 ±48,085µM na água superficial variando significativamente entre os meses ao longo do ano (ANOVA gl = 9; p < 0,0001). As menores médias de concentrações de CO<sub>2</sub> na água foram observadas no mês de agosto de 2012 (230,034 ±7,432µM) e as maiores médias de concentrações de CO<sub>2</sub> na água foram observadas no mês de janeiro de 2012 (387,721 ±12,527µM), como observado na Figura 11.



**Figura 13:** Variação da concentração média de CO<sub>2</sub>, por mês, utilizando-se o método de ‘‘had-space’’ nos lagos do Lavrado.

As concentrações de CH<sub>4</sub> na água superficial, depois de corrigidos pelo fator de partição 1,04 utilizados por Belger et al (2010), tiveram seus limites variando de 1,09 a 1,39µM com médias de  $1,22 \pm 0,07\mu\text{M}$ . A variação média dos meses ao longo do ano foi significativa (ANOVA gl = 9;  $p < 0,05$ ). As menores concentrações médias de CH<sub>4</sub> foram observadas no mês de outubro de 2012 ( $1,153 \pm 0,047\mu\text{M}$ ). As maiores concentrações médias de CH<sub>4</sub> foram observadas no mês de maio de 2011 ( $1,319 \pm 0,054\mu\text{M}$ ), como observado na Figura 12.



**Figura 14:** Variação da concentração média de CH<sub>4</sub>, por mês, utilizando-se o método de “hadspace” nos 80 lagos coletados durante o estudo.

#### 4.2.3 Emissões ebulitivas e difusivas de CO<sub>2</sub> e de CH<sub>4</sub>.

Não foram detectadas emissões ebulitivas provenientes dos lagos das savanas úmidas de Roraima. As emissões de CO<sub>2</sub> no ambiente aquático variaram seus limites entre 4403,16 a 17612,64mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, com média de 9710,28 ±3002,056mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Concentrações de CH<sub>4</sub> em ambiente aquático variaram de 5,717 a 28,86mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, com média de 9,62 ±5,840mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. A Tabela a seguir representa as médias de emissões difusivas em cada mês de coleta, levando-se em consideração que a câmara aquática tem volume de 24,3 litros e 0,12m<sup>2</sup> e que as médias estão estabelecidas em mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Para transformação de mgCO<sub>2</sub> em mgC, utilizou-se a relação de

12/44 e de mgCH<sub>4</sub> em mgC, a relação de 12/16, provenientes dos pesos moleculares dessas substâncias.

**Tabela 2:** Valores das médias das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>), por mês de coleta, provenientes dos lagos do lavrado.

Meses	CO <sub>2</sub> em ambiente aquático	Desvio Padrão	CH <sub>4</sub> em ambiente aquático	Desvio Padrão
Novembro/2011	12422	899,3	16,083	0,308
Dezembro/2011	13151	894,0	15,695	0,902
Janeiro/2012	16169	3832,5	8,626	6,833
Fevereiro/2012	6153	464,1	8,929	6,974
Março/2012	9973	521,1	8,626	3,348
Abril/2012	6269	1457,0	8,323	7,529
Mai/2012	8311	594,9	9,496	7,357
Agosto/2012	9637	329,0	8,455	6,577
Setembro/2012	9623	661,8	9,305	7,209
Outubro/2012	11372	2042,1	8,137	3,144

#### 4.3 Influência de fatores ambientais sobre as emissões de CO<sub>2</sub>.

A Correlação Canônica (CCA) correspondente as emissões de CO<sub>2</sub> contra as variáveis ambientais, indicou efeito significativo de vento, temperatura e profundidade nas emissões nas câmaras aquáticas. Observando a Tabela 3, nota-se que os dois primeiros tiveram efeito positivo e o terceiro efeito negativo. Já o oxigênio dissolvido na superfície e no fundo dos lagos não surtiu efeito na emissão de CO<sub>2</sub> no ambiente aquático.

**Tabela 3:** Matriz de Correlações Canônicas entre a emissão de CO<sub>2</sub> e as variáveis ambientais analisadas nesse estudo.

Correlação das médias das emissões de CO <sub>2</sub> com	CCA
Vento	R = 0,856 (p < 0,01)
Temperatura da água	R = 0,675 (p < 0,01)
Profundidade do lago	R = -0,306 (p < 0,05)
O <sub>2</sub> da superfície do lago	R = -0,149 (p > 0,05)
O <sub>2</sub> do fundo do lago	R = -0,036 (p > 0,05)

#### 4.4 Influência de fatores ambientais sobre as emissões de CH<sub>4</sub>.

A Correlação Canônica (CCA) correspondente as emissões de CH<sub>4</sub> contra as variáveis ambientais, indicou efeito significativo de vento, temperatura e profundidade no ambiente aquático, sendo que vento e temperatura tiveram efeito positivo a profundidade efeito negativo. Já o oxigênio dissolvido na superfície e no fundo dos lagos não surtiu efeito na variação do CH<sub>4</sub> no ambiente aquático (Tabela 4).

**Tabela 4:** Matriz de Correlações Canônicas entre as emissões de CH<sub>4</sub> e as variáveis ambientais analisadas nesse estudo.

Correlação das médias das emissões de CH <sub>4</sub> com	CCA
Vento	R = 0,743 (p < 0,01)
Temperatura da água	R = 0,633 (p < 0,01)
Profundidade do lago	R = -0,263 (p < 0,05)
O <sub>2</sub> da superfície do lago	R = -0,058 (p > 0,05)
O <sub>2</sub> do fundo do lago	R = 0,056 (p > 0,05)

#### 4.5 Estimativas regionais

A fim de calcular as estimativas regionais a partir da área alagada fez-se a inferência utilizando-se as relações estabelecidas por Hamilton et al (2002), já citadas anteriormente (Tabela 5). Ressalta-se que as emissões médias de junho de 2012 e julho de 2012 foram estimados a partir das médias das emissões dos meses de maio de 2012 e agosto de 2012, haja vista não terem acontecido coletas de emissões de GEE nesses dois meses. No entanto essas médias foram multiplicadas pelos valores de áreas alagadas em km<sup>2</sup>, estabelecidas por Hamilton e seus colaboradores em seu trabalho de 2002.

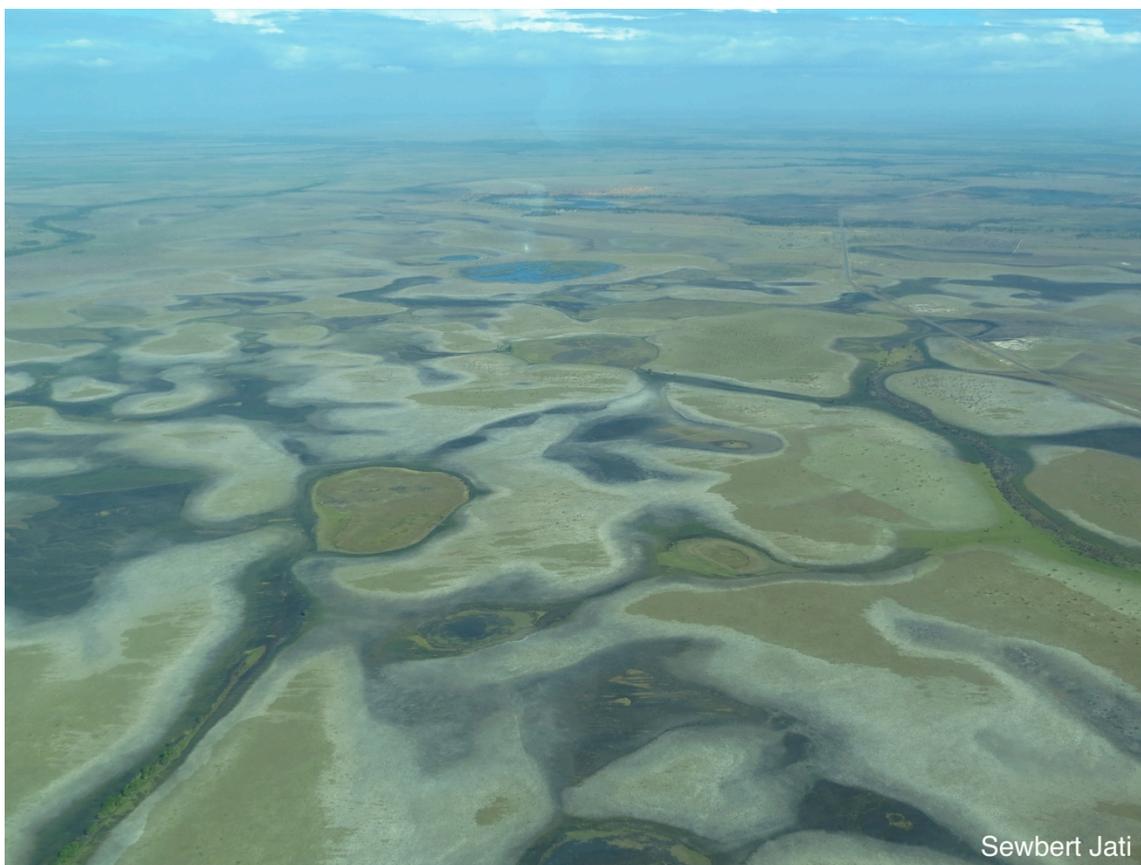
**Tabela 5:** Estimativas regionais de emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (TgC.mês<sup>-1</sup>), nos lagos do Lavrado. \*As emissões dos meses de Junho de 2012 e Julho de 2012 foram calculados a partir da médias dos meses de maio de 2012 e Agosto de 2012, multiplicados pela área alagada do Lavrado estabelecida por Hamilton et al (2002).

Mês	Área Alagada do Lavrado (Km <sup>2</sup> )	Emissões CO <sub>2</sub>	Emissões CH <sub>4</sub>
Novembro de 2011	2.142,76	0,7985	0,000958
Dezembro de 2011	901,78	0,3676	0,000411
Janeiro de 2012	890,82	0,4465	0,000414
Fevereiro de 2012	2.611,81	0,4500	0,001212
Março de 2012	2.533,55	0,7833	0,001133
Abril de 2012	1.230,74	0,2315	0,000608
Mai de 2012	1.856,24	0,4782	0,001007
Junho de 2012*	1952,02	0,5255	0,001002
Julho de 2012*	2047,79	0,5697	0,001051
Agosto de 2012	9.451,92	2,8238	0,004575
Setembro de 2012	13.269,85	3,8308	0,007056
Outubro de 2012	5.201,56	1,8338	0,002467

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 *Descrição da paisagem e de parâmetros que influem na emissão de GEEs.*

A paisagem estudada consiste em uma baixa planície, onde se desenvolvem inúmeras pequenas depressões ocupadas por lagos e brejos (Figura 13). A vegetação está representada por savanas do tipo parque, graminosa e graminio-lenhosa, em sua maioria, utilizando-se a classificação do IBGE (2012).



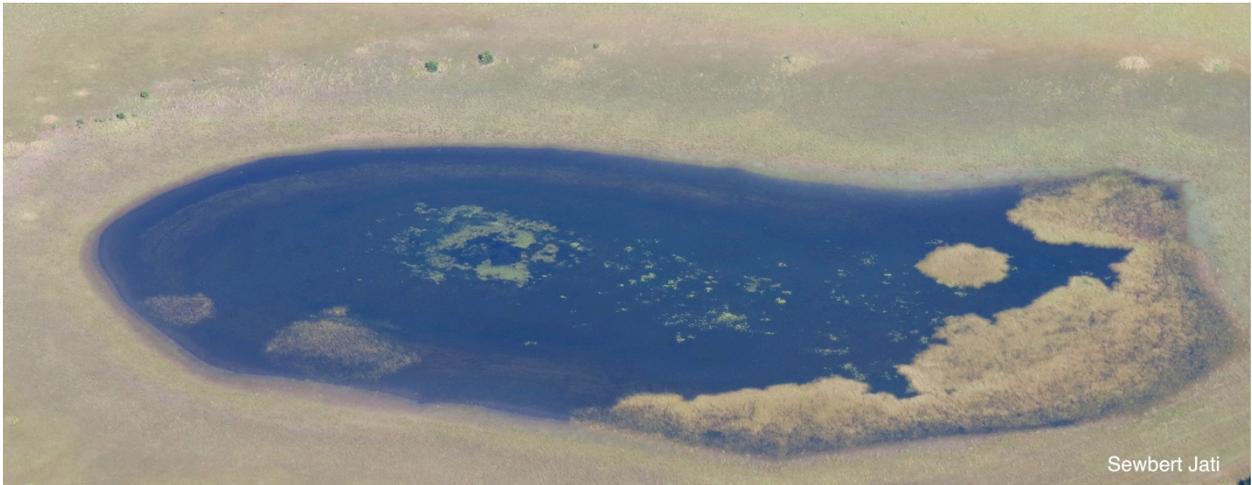
**Figura 15:** Lagos e brejos do lavrado, dentro da área de estudo, próximo a cidade de Boa Vista, RR.

As áreas de relevo mais baixo, onde encontram-se a maioria dos lagos, são dominadas por savana graminosa, ou gramíneo lenhosa (IBGE, 2012). Nos locais mais elevados que geralmente constituem os divisores de drenagem, a vegetação predominante é a savana parque.

As formas predominantes dos lagos são goticulares, circulares, elipsoidais e geminadas. Essas formas são determinadas geralmente pelo tipo ou padrão de conexão que determinado lago mantém com as veredas ou igarapés. Os lagos de contorno goticular, por exemplo, aparecem conectados aos fluxos lineares de água superficial, como igarapés e veredas. São, portanto, lagos essencialmente formadores de drenagem (nascentes). Os lagos elipsoidais são freqüentes em campos brejosos, ou assim como os lagos circulares, podem ocorrer isolados. Os lagos em formas geminada resultam da junção de dois ou mais lagos, proporcionado pelo rompimento do divisor d'água, por conta do aumento do nível das águas dos lagos no período chuvoso. Diante da proximidade existente entre suas bacias, passam a formar um único corpo lacustre interinamente.

A cheia dos lagos acompanha a cheia do rio Branco e são susceptível a influência de precipitações locais. Durante a cheia os lagos das savanas úmidas se unem formando poucos lagos ou até mesmo um imenso lago, durante a seca estes lagos retraem suas extensões e como são pouco profundos pequenos declives na superfície em que eles estão são suficientes para separá-los em um conjunto numeroso de pequenos lagos que voltam a se fundirem quando as águas sobem. Além do mais a variação do lençol freático concomitante com as chuvas auxilia na variação do volume de água nos lagos estudados.

Durante a estiagem cerca de 65% dos lagos (Figura 14) secam completamente, expondo o fundo de suas bacias, ou se reduzem a pequenos núcleos d'água, limitados por círculos brejosos (áreas interfluviais). Essa intermitência é atribuída ao longo período de seca (seis meses) a que é submetida essa região do estado de Roraima aliada à pequena profundidade das bacias lacustres.



**Figura 16:** Lago típico do lavrado, dentro da área de estudo.

Os lagos estudados apresentam-se em sua grande maioria intensamente colonizados por macrófitas aquáticas emergentes (ciperáceas) e fixas ao fundo com folhas flutuantes (ninféáceas). Estas últimas, embora em menor expressão, podem ocorrer indistintamente em todos os lagos, enquanto que as primeiras se estabelecem conforme a profundidade das bacias lacustres, pois quando eles encontram-se totalmente submersos acabam morrendo, se decompondo e se depositando no fundo do lago. Em lagos com profundidades menores que 40cm, a ocupação por estes vegetais é quase completa.

Nos lagos de profundidades mais elevadas ( $> 0,70\text{m}$ ) as ciperáceas ocupam apenas as zonas de margens, ou estão simplesmente ausentes. No entanto, a maioria dos lagos estudados aqui não ultrapassaram a profundidade de 0,7 metros.

A vegetação, portanto apresenta uma distribuição zonada, concêntrica, seguindo o contorno do lago e a morfologia do fundo e da variação de sua profundidade. A zona central, em geral livre de vegetação, denota a parte mais profunda, onde há surgência da água, tipo olho d'água. Uma elevação concêntrica entre a zona central e as margens do lago, normalmente

colonizada por gramíneas, deve ter sido formada pelo movimento borbulhante das águas no local de sua surgência. Este processo remobiliza o material arenoso do substrato sedimentar lançando-o radialmente em todas as direções, com intensidade decrescente para fora.

No estudo de Meneses et al (2007), os materiais sedimentados coletados nas margens e centro dos lagos apresentaram, indistintamente, a predominância da fração arenosa (principalmente areia média e fina), com uma variação de 70 e 85%, enquanto que a fração fina (silte e argila) oscilou entre 15 e 30%. E como aproximadamente 90% dos grãos apresentam baixa esfericidade, predominando formas achatadas e alongadas, descartou-se, no trabalho de Meneses et al (2007) que eles sejam formados de origem eólica assim como afirmou Montalvão et al. (1975).

Já com relação aos minerais encontrados nos lagos no trabalho de Meneses et al (2007) o padrão é compatível com perfis de solos tropicais, ácidos e com abundância de matéria orgânica. No entanto, as condições de hidromorfismo reinantes nestas áreas, principalmente durante o período chuvoso, sugerem que boa parte dessa matéria orgânica advem da lixiviação, corroborando com o trabalho de Krauskopf (1972).

Os sedimentos dos lagos, portanto, são bem distintos dos sedimentos do rio Branco, sendo que entre eles existe uma diferença significativa na quantidade de argila segundo os estudos de (Meneses et al, 2007).

As águas dos lagos analisados apresentaram valores de temperatura entre 25,9 e 35,2°C, com médias de  $21,5 \pm 3,33^\circ\text{C}$  refletindo as condições térmicas típicas do clima da região (Awi na classificação de Köppen), que pode apresentar temperatura de até 42°C corroborando com o trabalho de Meneses et al (2007).

O oxigênio dissolvido na água diminuiu nas camadas mais profundas da coluna da água, formando em alguns casos hipolímio anóxico. Como os lagos são muito rasos, foram raras as situações de formação de ambientes anóxicos, pela inexistência de extratificação. O trabalho de Belger et al (2010) em um ambiente semelhante ao estudado não identificou a formação do Hipolímio anóxico, tendo justificado esse fenômeno, justamente pela inexistência de extratificação da coluna da água. Em meu trabalho acredito que acúmulo de matéria orgânica no fundo dos lagos possa ser suficiente em alguns casos, mesmo sem extratificação, para a formação do ambiente sem oxigênio, possivelmente pela alta taxa de decomposição levando ao consumo de Oxigênio.

A cota do rio branco variou de 1,60 a 6,64 metros e está ligada de acordo com Hamilton et al (2002) as chuvas que caem em sua bacia. A variação do volume de água nos lagos está intimamente relacionada a variação do rio Branco e as chuvas da região (Barbosa, 1997; Hamilton et al, 2002).

## ***5.2 Emissão de GEEs e a influência de variáveis ambientais sobre estes fluxos***

### **5.2.1 Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> no ar atmosférico**

A concentração média de CO<sub>2</sub>, apesar do alto fluxo (454,56ppm) foram equivalentes ao valor de referência de Mauna Loa ( $\pm 450$ ppm), acredita-se que essa concentração se dá pela mistura atmosférica causada por ventos fortes, comuns na região. O trabalho de Belger et al (2010) em áreas interfluviais do rio Negro, que estudou um ambiente de campina encontrou um valor de 810 ppm que equivale a praticamente o dobro do valor de referência, no entanto, nesse ambiente os ventos eram mais fracos o que diminuiria a mistura atmosférica provocadas pelos

ventos. As concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> observados nos campos estudados aqui indicam a presença de fontes locais destes gases.

A concentração média de CO<sub>2</sub> na atmosfera sobre os lagos variou sazonalmente atingindo as maiores concentrações nos meses de seca. Já a concentração de CH<sub>4</sub> alcançou seu maior índice em um mês intermediário entre a cheia e a seca. Esses aspectos, especialmente relativos ao CH<sub>4</sub>, necessitam ser melhores estudados a fim de se compreender melhor essa variação sazonal desses gases. Acredita-se que esse fato poder indicar uma dinâmica de produção diferenciada para esses gases nesse sistema, haja vista não ter acontecido relação significativa com a concentração de oxigênio na água e sim com outros fatores como a velocidade do vento, a temperatura e a profundidade dos lagos. Portanto, provavelmente esse fenômeno ocorre devido ao aporte de nutrientes das adjacências dos lagos. Um fator importante ao ser considerado no lavrado é que comumente ocorre o processo de queimadas durante a maioria dos meses, cessando apenas no período da cheia. Alvalá et al (1999), em seu trabalho nos lagos do Pantanal, observaram maiores concentrações de CH<sub>4</sub> na atmosfera sobre o pantanal na época de seca e, consequentemente, atribuíram esse aumento a queimadas reforçando a hipótese anterior. No entanto nenhuma relação entre emissões de CH<sub>4</sub> e queimadas foi testada nesse trabalho.

Em outros estudos na Amazônia, atribuiu-se as emissões de GEEs as concentração de O<sub>2</sub> na coluna d'água, que facilitando a respiração, libera quantidades maiores de GEEs (Hamilton et al, 1995; Ballester e Santos, 2000; Belger et al, 2010) ou ainda devido ao aumento da pluviosidade que possibilita maior mistura vertical da atmosfera. A turbulência atmosférica sobre a concentração de gases já foi constatada na Amazônia, observando-se que CH<sub>4</sub> era mais concentrado na atmosfera nas horas do dia em que havia menor mistura vertical do ar (Crill et al, 1988; Bartlett et al, 1990; Devol et al, 1994; Belger et al, 2010). No entanto, em meu estudo não

foi encontrada relação significativa dessas emissões com as variações de  $O_2$  na água, tampouco testei a influencia da turbulência atmosférica com essas emissões, diferente do que foi observado por Belger et al (2010) e Bartlett et al (1990), que observaram o aumento da concentração de  $CH_4$  superficial em ambientes com depleção de  $O_2$ . Em meu experimento  $CO_2$  e  $CH_4$  não tiveram diferença significativa de concentração na água a partir da variação do  $O_2$  e sim pela variação da velocidade do vento e da temperatura da água e da profundidade dos lagos, corroborando nesse aspecto com o trabalho de Belger et al (2010).

Comparando as emissões de  $CH_4$  de meu estudo com o de Belger et al (2010), identificou-se que em ambos estudos a variação de metano não obedeceu um padrão influenciado pela pluviosidade e conseqüentemente a variação área alagada do Lavrado. A maior concentração de  $CH_4$  na atmosfera sobre os lagos provavelmente refletiu uma maior produção local de  $CH_4$  nesta época, pois a área alagada dos lagos era extensa e o nível da água em toda a região estava baixando, podendo ter desencadeado a produção de metano. Belger et al, em 2010 conseguiu estabelecer uma relação em seu trabalho em campos alagados (chavascals) em área interfluvial do rio Negro, onde a maior emissão de  $CH_4$  estava relacionada com a descida das águas e conseqüente emissão de  $CH_4$  por bolhas. Além disso, nesta época a concentração de metano na água era maior. Alvalá et al (1999) observaram maiores concentrações de  $CH_4$  na atmosfera sobre o pantanal na época de seca e atribuíram isto a queimadas, nas savanas úmidas o fenômeno de queimadas é comum no período da seca ou quando as águas começam a baixar o que coincide com o fenômeno observado. Portanto o aumento da concentração de  $CH_4$  no ar nesta época merece ser melhor investigado.

### 5.2.2 Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dissolvidos na água

Nos lagos do lavrado as concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> diluídos na água superficial demonstraram valores próximos a outros estudos realizados na Amazônia. As concentrações médias foram respectivamente 279µM e 1,22µM (Tabela 6).

Verifica-se na Tabela 6, que as concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> são similares as concentrações desses gases de efeito estufa em outros estudos na Amazônia. Especialmente as concentrações de CO<sub>2</sub>, exceto quando se comparam as concentrações de CH<sub>4</sub> na água com os estudos como os de Richey et al (1998), Devol et al (1988) e Cril et al (1988), cujos valores nesses trabalhos foram mais elevados que os valores de concentrações encontradas nesse trabalho. No entanto, esses estudos utilizaram a lei de Fick para os resultados de concentrações, enquanto que este estudo fora similar aos demais que utilizaram medidas diretas do ambiente com câmaras flutuantes, apesar de ter tido um valor um pouco inferior a esses estudos.

**Tabela 6:** Comparação de médias de concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> encontradas nesse estudo com outros estudos desenvolvidos na Amazônia.

Concentração de CO <sub>2</sub> µM	Concentração de CH <sub>4</sub> µM	Habitat	Autor, ano
279	1,22	Savanas úmidas de Roraima (Lavrado)	Este estudo
391	1,9-4,1	Campos do interflúvio do rio Negro	Belger et al, 2010
	2,9	Lago da Amazônia Central.	Engle e Melack, 2000.
	12	Várzea da Amazônia Central	Richey et al, 1998
301-1084	0,8-76	Lagos do Pantanal	Hamilton et al, 1995
257	6,4	Várzea da Amazônia Central	Devol et al, 1988
	4	Lagos de várzea da Amazônia Central	Cril et al, 1988

Quanto a essa diferença ressalta-se aqui que a profundidade dos lagos do lavrado pode interferir em seu metabolismo, uma vez que em lagos mais profundos, como os dos estudos supra citados, é comum a formação de hipolímnio anóxico, o que por sua vez aumenta a

formação de metano e conseqüentemente aumenta sua concentração na água. Já nesse estudo foi rara a formação de tal ambiente o que dificulta a formação de CH<sub>4</sub>, e portanto a concentração maior desse gás.

### 5.2.3 Emissões ebulitivas e difusivas de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>

Nesse estudo não se capturou bolhas de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nos funis introduzidos nos lagos no período de coleta, diferentemente do que sugerem os estudos de Devol et al (1988; 1990), que detectaram emissões de 85mgCH<sub>4</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Talvez a pouca profundidade dos lagos e o tempo de incubação dos funis pode ter interferido nesse resultado. Sugiro que em experimentos posteriores aumentem o tempo de incubação dos funis de 1 dia (caso desse trabalho) para um tempo maior a fim de se medir esse tipo de emissão que fora detectado em outros trabalhos e que provavelmente possa ocorrer, em menor escala, nas savanas úmidas. O trabalho de Belger et al (2010) detectou emissão de CO<sub>2</sub> (17mgCO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>) e CH<sub>4</sub> (100,3 mgCH<sub>4</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>) por bolhas.

As emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> obedeceram padrões diferentes, enquanto o CH<sub>4</sub> emitido foi abaixo do encontrado em outros trabalhos, a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido a partir dos lagos do lavrado foi muito superior ao observado em outros estudos (Tabela 7).

**Tabela 7:** Fluxo de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (mgC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>).

Fluxo de CO <sub>2</sub>	Fluxo de CH <sub>4</sub>	Habitat	Autor, ano
9666	9,6	Savanas úmidas de Roraima (Lavrado)	Este trabalho
1611 – 2801	12,2 – 25,8 38 – 246	Campos do interflúvio do rio Negro Lagos de várzea da Amazônia Central	Belger et al, 2010 Melack et al, 2004
2274		Várzea da Amazônia Central	Richey et al, 2002
	4,9	Lagos de várzea da Amazônia Central.	Engle e Melack, 2000.
301-1084	0,8-76	Lagos do Pantanal	Hamilton et al, 1995
1860	292	Várzea da Amazônia Central	Devol et al, 1988

Comprando-se os resultados das emissões deste estudo com outros estudos da Amazônia é relevante entender dois aspectos: (1) por que os lagos do lavrado, mesmo com uma concentração de CO<sub>2</sub> na água similar a outros lagos estudados na Amazônia emitiram muito mais CO<sub>2</sub>? e (2) por que os lagos do lavrado emitiram quantidades inferiores de CH<sub>4</sub> que alguns lagos estudados na Amazônia?

Para responder a primeira pergunta é necessário lembrar que a difusão de gases a partir de um ambiente aquático, fisicamente falando, depende de uma constante de difusão (K) que está relacionado diretamente com a espessura da camada de contato entre a água e a atmosfera e inversamente a profundidade do corpo d'água. Vale a pena levantar também os aspectos ambientais que interferem nessa constante. Como os lagos do lavrado são de pouca profundidade, média de 0,67m, estão em ambientes abertos, ou seja, esses ambientes estão mais sujeitos a ação do vento, acredita-se que por esses motivos, os lagos do Lavrado aqui estudados tendem a emitir mais GEEs, a maior turbulência causada pelos ventos aumenta a oxigenação do ambiente, da superfície até o fundo do lago, assim como diminui a barreira superficial da água o que proporciona maior emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para a atmosfera, diferente do que ocorre com os lagos mais profundos e protegidos do vento.

Os lagos dos estudos comparados com esse trabalho (Tabela 7) são lagos profundos, comparados com os lagos do lavrado, o que sugere uma dinâmica diferente dos lagos aqui estudados. Portanto, a velocidade do vento (média de  $2,75 \pm 2,31 \text{ m.s}^{-1}$ ) e as baixas profundidade (média de  $0,6 \pm 0,23 \text{ m}$ ) dos lagos do lavrado são fatores que aumentam as emissões de CO<sub>2</sub>. O vento causa turbulência na água, auxiliando a entrada de O<sub>2</sub> no sistema lacustre, que no caso dos lagos do Lavrado deve ser consumido rapidamente pelo metabolismo dos microorganismos, pois as concentrações de O<sub>2</sub> na água são sempre baixas (médias de  $3,1 \pm 0,63 \text{ mg.l}^{-1}$ , na superfície e 0,5

$\pm 0,54 \text{mg.l}^{-1}$  no fundo dos lagos), possivelmente explicando a liberação elevada de  $\text{CO}_2$ . A temperatura também é uma temperatura ideal para o elevado metabolismo desses sistemas e a baixa profundidade auxilia na mistura do sistema, acelerando seu processo metabólico, pois deixa o sistema mais homogêneo.

Para responder a segunda pergunta, vale a pena ressaltar que a maior mistura que ocorre nos lagos do lavrado, impossibilitando a formação de hipolímnio anóxico, em sua maioria, e a temperatura ideal, por auxiliarem a produção de  $\text{CO}_2$ , nos sistemas, diminui a quantidade de matéria orgânica disponível para o processo de formação de  $\text{CH}_4$ , que por sua vez depende da anóxia dos sistemas. Portanto sem anóxia ocorre menor produção de  $\text{CH}_4$ . Além do mais, em todos os estudos relacionados ao  $\text{CH}_4$ , a maioria das emissões, cerca de 80% ocorreram por ebulição. Se for subtraído essas emissões por bolhas dos estudos de Belger et al (2010) e Hamilton et al (1995) obteríamos os valores de 2,44 a 5,8  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e 7,6 a 48,68  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , respectivamente, ou seja, os resultados obtidos no meu trabalho estariam dentro da faixa de variação desses estudos que utilizaram câmaras flutuantes (9,68  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ).

#### **5.2.4 Totais de emissões de $\text{CO}_2$ e $\text{CH}_4$**

As emissões totais de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  em  $\text{TgC.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  foram estabelecidas a partir das emissões mensais desses gases de efeito estufa. A Tabela a seguir traz o resultado dessas emissões extrapoladas para o total de área alagada mensal do lavrado a partir da relação estabelecida por Hamilton et al (2002).

**Tabela 8:** Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (TgC.mês<sup>-1</sup>). Área alagada calculada a partir das relações estabelecidas por Hamilton et. al., 2002. \*Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> inferidas a partir das médias dos meses de maio de 2012 e agosto de 2012 e multiplicadas pela área alagada conforme as outras médias.

Mês	Área Alagada do Lavrado	TgC-CO <sub>2</sub> .mês <sup>-1</sup>	TgC-CH <sub>4</sub> .mês <sup>-1</sup>
Novembro de 2011	2.142,76 Km <sup>2</sup>	0,7985	0,00103
Dezembro de 2011	901,78 Km <sup>2</sup>	0,3676	0,00044
Janeiro de 2012	890,82 Km <sup>2</sup>	0,4465	0,00024
Fevereiro de 2012	2.611,81 Km <sup>2</sup>	0,4500	0,00065
Março de 2012	2.533,55 Km <sup>2</sup>	0,7833	0,00068
Abril de 2012	1.230,74 Km <sup>2</sup>	0,2315	0,00031
Maio de 2012	1.856,24 Km <sup>2</sup>	0,4782	0,00055
Junho de 2012	1952,02 Km <sup>2</sup>	0,5255*	0,00053*
Julho de 2012	2047,79 Km <sup>2</sup>	0,5697*	0,00057*
Agosto de 2012	9.451,92 Km <sup>2</sup>	2,8238	0,00248
Setembro de 2012	13.269,85 Km <sup>2</sup>	3,8308	0,00370
Outubro de 2012	5.201,56 Km <sup>2</sup>	1,8338	0,00131

As emissões anuais de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> foram calculadas a partir da soma das emissões mensais e totalizaram 13,139TgC.ano<sup>-1</sup> e 0,01248TgC.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Richey et al (2002) estimam uma emissão de CO<sub>2</sub> equivalente a 470TgC.ano<sup>-1</sup> para toda Amazônia enquanto que Melack et al (2004) estimam uma emissão de CH<sub>4</sub> equivalente a 22 TgC.ano<sup>-1</sup>. Os valores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> calculados nesse estudo equivalem a ~2,80% da quantidade de CO<sub>2</sub> previsto para toda Amazônia por Richey et al (2002) e a ~0,0567% da quantidade de CH<sub>4</sub> previsto para toda Amazônia por Melack et al (2004). Levando-se em consideração que a Amazônia possui um total de áreas alagáveis de aproximadamente 730000km<sup>2</sup> (Melack et al, 2004) e que as áreas alagáveis do lavrado equivale a aproximadamente 13270km<sup>2</sup> (Hamilton et al, 2002), ou seja, aproximadamente 1,82% de área alagável da Amazônia, essa área do lavrado emite uma quantidade maior de CO<sub>2</sub>, comparado-se com outras áreas alagáveis da Amazônia, mas, em compensação, emite uma quantidade menor de CH<sub>4</sub> que outras áreas alagáveis na Amazônia.

## 6. CONCLUSÃO

Áreas das savanas úmidas são fontes significativas de carbono para a atmosfera, emitidas como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Entre as variáveis ambientais testadas nesse estudo, a profundidade dos lagos, a velocidade do vento e a temperatura dos lagos das savanas úmidas são os fatores mais importantes que afetam as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, sendo que a primeira afeta de forma inversa e as demais de forma direta nas emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. É necessário, portanto, rever as estimativas pretéritas de emissão desses gases de efeito estufa elaboradas para toda a Amazônia, considerando em separado as emissões das savanas úmidas de Roraima, a fim de corrigir supestimativas de CH<sub>4</sub> e subestimativas de CO<sub>2</sub> para essa região.

## BIBLIOGRAFIA

Alvalá, P.C.; Kirchhoff, V.W.J.H.; Pavão, H.G., 1999. Metano na Atmosfera: Produção de metano em regiões de queimadas e áreas alagadas. 2. p. 40-43.

Aselmann, I.; Crutzen, P. J. 1989. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions, **J. Atmos. Chem.** v. 8, p. 307-358.

Ayres, Manuel; Ayres Jr, Manuel; Ayres, Daniel Lima; dos Santos, Alex de Assis Santos. 2007. **Bioestat: Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Bio-Médicas**. Instituto Mamirauá, Belém.

Barbosa, O.; Ramos, J.R. 1959. Território de Rio Branco, aspectos principais da geomorfologia, da geologia e das possibilidades minerais de sua zona setentrional. **Bol. Div. Geol. Miner.** v. 196, p.1-49.

Barbosa, R. I. 1997. Distribuição das chuvas em Roraima, In: Barbosa, R. I.; Ferreira, E. J. G.; Castellon, E. G. (eds). **Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima**. INPA, Manaus. p. 325-335.

Barbosa, R.I.; Campos, C.; Pinto, F.; Fearnside, P.M. 2007. The "Lavrados" of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas. **Functional Ecosystems and Communities**. v. 1, n. 1, p. 29-41.

Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 2005. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**. v. 204, p. 371-384.

Barbosa, R.I.; Ferreira, C.A.C. 2004. Densidade básica da madeira de um ecossistema de "campina" em Roraima, Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**. v. 34, n. 4, p. 587-591.

Bartlett, K.B.; Crill, P.M.; Bonassi, J.A.; Richey, J.E.; Harriss, R.C., 1990. Methane Flux from the Amazon River Floodplain: Emissions During Rising Water. *Journal of Geophysical Research* 95, 16773-16788.

Bartlett, K.B.; Harriss, R.C. 1993. Review and assessment of methane emissions from wetlands. **Chemosphere**. v.26, p.261–320.

Bastviken, D.; Persson, L.; Odham, G.; Tranvik, L.. 2004. Degradation of dissolved organic matter in oxic and anoxic lake water. **Limnology Oceanography**. v. 49, p.109-116.

- Belger, L.; Forsberg, B.R.; Melack, J.M. 2010. Carbon dioxide and methane emissions from interfluvial wetlands in the upper Negro River basin, Brazil. **Biogeochemistry**.
- BRASIL 1975. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, v.8. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia.
- Broecker, W. S.; Peng, T. 1984. Gas exchange measurements in natural systems. p. 479-493. In Brutsaert, W.; Jirka, G.H. (eds.). **Gas transfer at water surfaces**. D. Reidel.
- Castaldi, S.; Ermice, A.; Strumia, S., 2006. Fluxes of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from soils of savannas and seasonally-dry ecosystems. *Journal of Biogeography* 33, 401.
- Carneiro-Filho A. 1991. Contribution to the study of the forest-savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil. MSc Thesis, **ITC-Enschede**. 108 pp.
- Chave, J.; Muller-Landau, H. C.; Baker, T. R.; Easdale, T. A.; Steege, H.; Webb, C. O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**. v. 16, n. 6, p. 2356–2367.
- Cole, J.J.; Bade, D.L.; Bastviken, D.; Pace, M.L.; Bogert, M.V. 2010. Multiple approaches to estimating air-water gas exchange in small lakes. **Limnology and Oceanography Methods**. v. 8, p. 285–293.
- Cole, J.I.; Caraco, N.F. 1998. Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF<sub>6</sub>. **Limnology and Oceanography Methods**. v. 43, n. 4, p. 647-656.
- Cole, J.J.; Prairie, Y.T.; Caraco, N.F.; McDowell, W. H.; Tranvik, L. J.; Striegl, R. G.; Duarte, C. M.; Kortelainen, P.; Downing J. A.; Middelburg, J. J.; Melack, J. 2007. Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. **Ecosystems**. v.10, p. 172-185.
- Cordeiro, R.C.; Turcq, P.F.M.; Turcq, B.J.; Moreira, L.S.; Rodrigues, R.C.; Costa, R.L.; Sifeddine, A.; Simões Filho, F.F.L. 2008. Acumulação de Carbono em Lagos Amazônicos como Indicador de Eventos Paleoclimáticos e Antrópicos. **Oecol. Bras.** v. 12, n. 1, p. 130 – 154.
- Costa, J.A.V. 1999. Tectônica da Região Nordeste de Roraima. Tese de doutoramento, **Centro de Geociências**. Universidade Federal do Pará. 323p.

Costa e Souza, J. M. 2005. Etnias Indígenas das savanas de Roraima: Processo Histórico de Ocupação e Manutenção Ambiental. In: Barbosa, R.I.; Xaud, H.A.M.; Costa e Souza, J.M. Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilviopastoris. FEMACT.

Crill, P.M.; Bartlett, K.B.; Wilson, J.O.; Sebacher, D.I.; Harriss, R.C.; Melack, J.M.; MacIntyre, S.; Lesack, L.; Smith-Morrill, L., 1988. Tropospheric methane from an Amazonian floodplain lake. *Journal of Geophysical Research* 93, 1564-1570.

Devol, A.H.; Richey, J.E.; Clark, W.A.; King, S.L.; Martinelli, L.A., 1988. Methane emissions to the troposphere from the Amazon floodplain. *Journal of Geophysical Research* 93, 1583-1592.  
Devol, A.H.; Richey, J.E.; Forsberg, B.R.; Martinelli, L.A., 1990. Seasonal dynamics in Methane emissions from the Amazon River floodplain to the troposphere. **Journal of Geophysical Research**. v.95, p.16417-16426.

Devol, A.H.; Richey, J.E.; Forsberg, B.R.; Martinelli, L.A., 1994. Environmental methane in the Amazon river floodplain. In: Mitsch, W.J. (ed). **Global Wetlands: old world and new**. Elsevier.

Eden, M. Savanna vegetation in the northern Rupununi, Guyana. **The Journal of Tropical Geography**. v. 30, p. 17-28.

Engle, D.; Melack, J.M., 2000. Methane emissions from an Amazon floodplain lake: Enhanced release during episodic mixing and during falling water. *Biogeochemistry* 51, 71- 90.

Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruá Dam) and their energy policy implications. **Water, Air and Soil pollution**. v.133, p. 69-96.

Fearnside, P.M. 2007. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. **Brazilian Journal of Ecology**. v. 10, p. 83-100.

Fearnside, P.M.; S. Pueyo. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. **Nature Climate Change**. v: 2, p. 382–384.

Ferreira, E.; Zuanon, J.; Forsberg, B.; Goulding, M. Briglia-Ferreira, S.M. 2007. **Rio Branco: peixes, ecologia e conservação de Roraima**. INPA, Manaus.

Franco, E.M.S.; Del'arco, J.O., Rivetti M. 1975. *Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21*. Projeto Radambrasil. **Geomorfologia**. Rio de Janeiro. DNPM. p.139-180.

- Hamilton, S.K.; Sippel, S.J.; Melack, J.M., 1995. Oxygen depletion and carbon-dioxide and methane production in waters of the Pantanal wetland of Brazil. *Biogeochemistry* 30, 115- 141.
- Hamilton, C. 2010. Requiem for a species: why we resist the truth about climate change. **Earthscan**. 274 pp.
- Hamilton, S.K.; Sippel, S.J.; Melack, J.M. 2002. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**. v.107,n.0.
- Houghton, R.A.; Lawrence, K.T.; Hackler, J.L.; Brown, S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**. v. 7, p. 731-746.
- IBGE. 1999. Anuário Estatístico do Brasil – 1998. v. 58. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- 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.
- IPCC Climate Change. 2007. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Schöngart, J.; Cohn-Haft, M.; Adeney, J.M.; Wittmann, F. 2011. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**. v. 31, p.623-640.
- Kemenes, A.; Forsberg, B.R.; Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. **Geophysical Research Letters**. v. 34, p. 1-5.
- Kemenes, A.; Forsberg, B.R.; Melack, J.M. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). **Journal of Geophysical Research**.v.116.
- Kemenes, A. 2012. Mudança de Clima e Geração de Energia. **Ciência Hoje**. v. 50, p. 36-41.
- Koschorreck, M., 2000. Methane turnover in exposed sediments of an Amazon floodplain lake. *Biogeochemistry* 50, 195-206.
- Krauskopf, K.B. 1972. Introdução à Geoquímica I. **Polígono**. São Paulo, 293p.

- Liblik, L.K.; Moore, T.R.; Bubier, J.L.; Robinson, S.D., 1997. Methane emissions from wetlands in the zone of discontinuous permafrost: Forst Simpson, Northwest Territories, Canada. *Global Biochemical Cycles* 11, 485-494.
- MacIntyre, S.; Jonsson, A.; Jansson, M.; Aberg, J.; Turney, D.E.; Miller, S.D. 2010. Buoyancy flux, turbulence, and the gas transfer coefficient in a stratified lake. ***Geophysical Research Letters***. v. 37.
- Macintyre, S.; Wanninkhof, R.; Chanton, J.P. 1995. Trace gas exchange across the air-water interface in freshwater and coastal marine environments. p. 52–97. In: Matson, P.A.; Harriss, R.C. (eds.). ***Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water***. Blackwell.
- Marani, L.; Alvalá, P.C. 2007. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. ***Atmospheric environment***. v. 41, n. 8, p. 1627-1633.
- Matthews, E.; Fung I. 1987. Methane emission from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources. ***Global Biogeochem. Cycles***. v. 1, p. 61-86.
- Melack, J.; Forsberg, B.R. 2001. Biogeochemistry of Amazon floodplain lakes and associated wetlands. In: McClain, M.E., Victoria R.L. e J.E. Richey [eds.]. ***The Biogeochemistry of the Amazon Basin***. Oxford University Press. p. 235-276.
- Melack, J.M.; Hess, L.L.; Gastil, M.; Forsberg, B.R.; Hamilton, S.K.; Lima, I.B.T.; Evlyn, M.L.M. 2004. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. ***Global Change Biology***. v.10, p. 530–544.
- Melo, A.F.F.; Santos, A.J.; Cunha, M.T.P.; Campos, M.J.F.; D’antona, R.J.G.; Damião, R.N. 1978. Projeto Molibdênio em Roraima. ***Relatório DNPM/CPRM***. Manaus, p. 389-400.
- Meneses, M.E.N.S.; Da Costa, M.L.; Costa, A. V. 2007. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. ***Revista Brasileira de Geociências***. v.37, p. 478-489.
- Miranda, I.S.; Absy, M.L. 2000. Fisionomia das savanas de Roraima, Brasil. ***Acta Amazônica***. v. 30, n. 3, p. 423-440.

- Miranda, I.S.; Absy, M.L. 1997. A Flora Fanerogâmica das Savanas de Roraima. *In*: R.I. Barbosa, E.J.G. Ferreira, E.G. Castellon (Orgs.) **Homem, Ambiente e Ecologia no estado de Roraima**. INPA. Manaus, p. 445-453.
- Miranda, I.S.; Absy, M.L.; Rebelo, G.H. 2003. Community structure of woody plants of Roraima savannahs, Brazil. **Plant Ecology**. v. 164, p. 109-123.
- Montalvão, R.M.G.; Muniz, M.B.; Issler, R.S.; Dall'agnol, R.; Lima, M.I.C.; Fernandes, P.E.C.A.; Silva, G.G. 1975. Geologia do Território Federal de Roraima. *In*: DNPM. **Conferência Geológica Interguianas**. Anais, v.10, Belém, p. 198-217.
- Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W.; França, M.B. 2007. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**. v. 248, p. 119-135.
- Reis, N.J.; Faria, M.S.G.; Maia, M.A.M. 2001. O Quadro Cenozóico da Porção Norte-Oriental do estado de Roraima. *In*: **Simpósio de Geologia da Amazônia**. Atlas, v. 7, Belém, p. 44-47.
- Richey J.E.; Melack J.M.; Aufdenkampe, A.K.. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric carbon dioxide. **Nature**. v. 416, p.617-620.
- Rosenqvist, A.; Forsberg, B.R.; Pimentel, T.; Rauste, Y.A.; Richey, J.E. 2002. The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. **Int. J. Remote Sensing**. v.23, n.7, p.1303-1328.
- Sanaïotti, T.M. 1997. Comparação fitossociológica de quatro savanas de Roraima. p. 481-488. *In*: R.I. Barbosa, E.J.G. Ferreira & E.G. Castellón (Eds). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 613p.
- Schaefer, C.E.R.; Dalrymple, J.B. 1996. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. **Geoderma**. v. 71, p. 1-17.
- Schaefer, C.E.R.; Vale Jr, J.F. 1997. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: Uma resenha do Cretáceo ao recente. *In*: Barbosa RI, Ferreira E, Castellón E (Eds) **Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima**. INPA, Manaus, p. 231-265.
- Schlesinger WH.1997. Biogeochemistry. Academic Press, New York.

Sioli, H. 1984. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**. v.1, p.74-83.

Veloso, H.P.; Goes-Filho, L.; Leite, P.F.; Barros-Silva, S.; Ferreira, H.C.; Loureiro, R.L.; Terezo, E.F.M. 1975. *Folha NA.20 Boa Vista e Parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21*. Projeto Radambrasil. **Vegetação**. Rio de Janeiro. DNPM. p. 307-406.

Vitt, L.J.; Carvalho, C.M. 1995. Niche partitioning in a tropical wet season: lizards in the Lavrado area of Northern Brazil. **Copeia**. v. 2, p. 305-329.

**Watson, A. 1993. Air-sea gas exchange and carbon dioxide. p. 397-411. In: Heimann , M. (ed.). The global carbon cycle. Springer-Verlag.**