

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE – PPG  
CLIAMB

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA ATIVIDADE DE PISCICULTURA EM  
TANQUES-REDE SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO  
RESERVATÓRIO DA UHE DE BALBINA, AMAZONAS, BRASIL.

Diana Sarmento Franco

Manaus, Amazonas  
Outubro, 2013

DIANA SARMENTO FRANCO

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA ATIVIDADE DE PISCICULTURA EM  
TANQUES-REDE SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO  
RESERVATÓRIO DA UHE DE BALBINA, AMAZONAS, BRASIL.

Orientador: Bruce Rider Forsberg


Dissertação apresentada ao Instituto  
Nacional de Pesquisas da Amazônia  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em Clima e  
Ambiente.

Manaus, Amazonas  
Outubro, 2013



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO  
DE DIANA SARMENTO FRANCO  
ALUNA DO CURSO DE MESTRADO  
EM CLIMA E AMBIENTE.

Aos 29 dias do mês de Novembro do ano de 2013, às 15:00 horas, realizou-se no auditório do PPG BADPI, Prédio do CPBA, INPA - CAMPUS II, sito à Av. André Araújo Aleixo, a sessão de defesa pública da dissertação de Mestrado da aluna Diana Sarmento Franco, sob o título “Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasil”, em complemento aos critérios exigidos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente, tendo como orientador o Professor Doutor Bruce Rider Forsberg, segundo encaminhamento da Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente e de acordo com os registros constantes na secretaria do Programa. A Banca Julgadora foi composta pelos seguintes membros: Professor Doutor Bruce Rider Forsberg (Presidente), Professor Doutor Julio Tóta da Silva (Membro Interno) e Professor Doutor Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (Membro Externo). **Parecer:** Encerrando os trabalhos, os membros da Banca Julgadora APROVARAM a dissertação.




---

Prof. Dr. Bruce Rider Forsberg (INPA)  
Presidente



---

Prof. Dr. Julio Tóta da Silva (UFOPA)  
Membro Interno



---

Prof. Dr. Paulo Maurício Lima A. Graça (INPA)  
Membro Externo

F825

Franco, Diana Sarmento

Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasil / Diana Sarmento Franco. --- Manaus: [s.n], 2014.  
ix, 42 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA/UEA, Manaus, 2013.

Orientador : Bruce Rider Forsberg.

Área de concentração : Interações Clima-Biosfera na Amazônia.

1. Piscicultura. 2. Piscicultura - Reservatórios. 3. Efeito estufa.

I. Título.

CDD 639.31

Aos meus pais Dinair e Solinaldo Franco, por todo amor, carinho e educação, aos meus irmãos Dimara e Edilberto Franco, por todos os momentos de alegria e cumplicidade. Ofereço.

## AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi fácil e não conseguiria sem o apoio de pessoas especiais que me acompanham e de outras que conheci nesta cidade e no curso de Mestrado.

Primeiramente quero agradecer a Deus pelo dom da vida e por guiar meus passos, sem ELE nada seria possível.

Agradeço a minha família, principalmente, meus pais Dinair e Solinaldo Franco por todo o amor e dedicação, por serem meus maiores incentivadores, apesar da distância, sempre se fizeram presente em todos os momentos da minha caminhada e peço desculpas também pelos momentos de ausência, mas sempre estive com vocês em pensamento e coração.

Aos meus irmãos, Edilberto e Dimara Franco, obrigada por todo o carinho, amor e força, sempre me dando uma palavra de incentivo e confiança, vocês tornaram essa caminhada mais alegre, apesar de toda a distância. Amo vocês.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e Universidade do Estado do Amazonas – UEA por toda a infraestrutura oferecida e aos professores do PPGCLIAMB pelos ensinamentos e trocas de experiências.

A CAPES - pelo oferecimento da bolsa de pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bruce Forsberg pela orientação, por dividir seu conhecimento e suas experiências, contribuíram muito para minha formação.

Aos meus colegas e amigos de turma do mestrado, obrigada pela parceria, pelas horas de descontração, pela ajuda nos momentos de dificuldades, pela companhia em noites acordados estudando para uma prova, para um seminário e o incentivo para não desanimar nos momentos de fraqueza, como sempre digo vocês são a minha família em Manaus.

A SEPROR, pelo apoio logístico e autorização para as coletas na Vila de Balbina.

Ao meu amigo e colega de pesquisa, Adry Thiago. Joãozinho, Veber Moura e Éric obrigada pelas contribuições e apoio.

Ao meu querido Lano Macedo, dizer obrigada é pouco para expressar minha gratidão, sem você esse sonho não seria possível, você foi fundamental nessa conquista, muitas vezes acreditou mais em mim do que eu mesma e assim nunca me deixou desanimar, obrigada pelos momentos de conversa, apoio e por todo carinho que me dedicas.

Aos amigos que conquistei ao longo da vida e que me acompanham sempre, apesar da distância, Caroline Franco, Joylena, Eber Ismael, Eloisa Barros, Gelle, Lílian, Danielle e os amigos que conquistei em Manaus Andréa, Suzana, Josiel, Aurilene,

Larissa, Lis, Raoni, Polari, Gustavo, Renata, Laurindo Campos, Yara, Záyra Edla, Elia, Raquel, Camilla e Luciana que são a força que movem minha caminhada.

Por último, não menos importante, agradeço a quem mesmo de longe sempre torceu muito por mim e nunca me deixou desanimar, Theomar Trindade Neves, obrigada pelo carinho, paciência, trocas de experiências e conversas, que seja apenas o começo de um futuro bom.

Finalmente, agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.

## RESUMO

A piscicultura em reservatórios artificiais vem crescendo no país e os impactos provenientes dessa prática precisam ser avaliados para evitar danos ao ecossistema. Um dos impactos previstos é o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) associado ao aumento de carga de material orgânico ao sistema. O Governo do Amazonas, desde 2007, estuda a implantação da piscicultura no lago da usina hidrelétrica de Balbina, município de Presidente Figueiredo a 170 km de Manaus – AM, onde já existe um projeto piloto com 8 tanques. Este trabalho objetivou avaliar os impactos da piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Para este estudo foram feitas medidas de emissão difusiva e ebulitiva de GEEs entre fevereiro a maio de 2013. A emissão difusiva foi medida utilizando câmaras estáticas flutuantes, onde uma série temporal de amostras (15 minutos total) de gás foi coletada com seringas de 60 ml e armazenada em frascos de 30 ml. A emissão ebulitiva foi medida com funis invertidos, submersos, incubados por um período de 24 horas. Todas as amostras de gás foram analisadas para  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  por Cromatografia Gasosa, no INPA em Manaus. O fluxo difusivo de  $\text{CH}_4$  variou de 0,003 a 189  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$  com média de 8,47  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$  e o fluxo de  $\text{CO}_2$  variou de -1,65 a 183.518  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$  com média de 6.354  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$ . Não houve diferença significativa nos fluxos difusivos entre as áreas de controle e tanques - rede. O fluxo ebulitivo de  $\text{CH}_4$  variou entre 1,23 e 7,01  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$  e o de  $\text{CO}_2$  variou de 0,005 a 0,110  $\text{mgC/m}^2/\text{dia}$  na área de tanque rede. O fluxo ebulitivo de  $\text{CH}_4$  na área de tanque - rede foi significativamente maior do que aqueles medidos em outras partes da represa, enquanto o fluxo de  $\text{CO}_2$  não foi significativamente diferente. Não havia zonas anóxicas na coluna de água nos dois locais (tanque rede e controle) nem diferenças significativas nas concentrações de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , oxigênio, temperatura, pH ou condutividade entre eles. A homogeneidade relativa entre os locais foi o resultado de intensa mistura vertical e horizontal e explica a similaridade das emissões difusivas encontradas. A maior emissão ebulitiva de  $\text{CH}_4$  no local de tanque-rede reflete o maior acúmulo de detritos orgânicos nos sedimentos desta área. Os resultados mostraram o papel importante da hidrodinâmica em minimizar os impactos dos tanques-rede na coluna de água. Porém o impacto dos resíduos sólidos que acumulam embaixo dos tanques foi significativo e terá que ser considerado nos esquemas de futuros sistemas de piscicultura.

**Palavras-chave:** Piscicultura, gases de efeito estufa, reservatórios.



## ABSTRACT

The fish farming in artificial water tanks are increasing in the country and the impacts from this practice need to be evaluated to avoid damage to ecosystem. Impacts predicted are the increase of Green House Gases (GHGs) emissions, methane (CH<sub>4</sub>) and carbon gas (CO<sub>2</sub>) associate with the increase of organic sediments to the system. The Amazon government, since 2007, studies the implementation of fish farming in the Balbina hydroelectric power plant lake, Presidente Figueiredo county far 170 km of Manaus – AM, where a pilot project is already going on with 8 water tanks. This work aims evaluate the impact of fish farming in the netting tank to CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emission. To this study were procedures diffusivity and boiling emission measurements of GHGs sampling between february and may of 2013. The diffusivity emission were carried on with floating static chambers, where temporal series sample (15 minutes in total) of gas were collected with 60 ml syringe and stored in 30 ml bottles. The boiling emission were proceeded with inverted hoppers, submerged and incubated for a period of 24 hours. All the samples were analysed to CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> using Gas Chromatography, at INPA in Manaus. The CH<sub>4</sub> diffusive flux ranged from 0.003 to 189.000 mgC/m<sup>2</sup>/day, average of 8.473 mgC/m<sup>2</sup>/day, and the CO<sub>2</sub> ranged from -1.650 mgC/m<sup>2</sup>/day to 183.518 mgC/m<sup>2</sup>/day, average of 6.354 mgC/m<sup>2</sup>/day. The results do not indicate a significant difference in the diffusive fluxes between the control and netting tank area. The methane boiling flux ranged between 1.230 and 7.010 mgC/m<sup>2</sup>/day, and to CO<sub>2</sub> ranged from 0.005 to 0.110 mgC/m<sup>2</sup>/day in the netting tank area. The methane boiling flux in the netting tank area was significantly higher than those measured in other parts of the reservoir, whilst the CO<sub>2</sub> flux was not significantly. There were no anoxic zones in the water column on both locals (netting tank and control), or even significant concentration of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, Oxygen, temperature, pH and conductivity. The relative homogeneity between the locals was due to the intense vertical and horizontal mixture and it explain the similarity of diffusivity emissions found. The major methane boiling emission in the netting tank reflect the major accumulation of organic debris in the local sediments. The results showed the importance of hydrodynamic in minimize the netting tank impacts in the water column. However, the solid sediments impact, which accumulate below the tanks were significant and should be considerate in the scheme of futures fish farming systems.

Key-words: Fish farming, green house gases, water tanks.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
APRESENTAÇÃO .....	11
OBJETIVOS .....	12
GERAL .....	12
ESPECÍFICOS .....	12
<b>Capítulo 1.</b> Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasil .....	13
<b>Resumo</b> .....	14
<b>1.Introdução</b> .....	16
<b>2.Materiais e métodos</b> .....	19
2.1 Área de estudo .....	19
2.2 Delineamento amostral .....	20
2.3 Métodos para estimar a emissão gases do efeito estufa (CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> ) .....	21
2.3.1 Variáveis ambientais .....	21
2.4 Variáveis dependentes .....	22
2.4.1 Fluxos de gases de efeito estufa (CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> ) .....	22
2.5 Cálculo das emissões de gases por área inundada .....	25
2.6 Análise de dados .....	26
<b>3. Resultados e discussão</b> .....	27
3.1 Fluxos de emissão difusiva .....	27
3.2 Fluxos de emissão ebulitiva .....	28
3.3. A influência de fatores ambientais nas concentrações de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> .....	29
<b>4. Conclusão</b> .....	38
<b>5. Referências</b> .....	40

## LISTA DE FIGURAS

**Capítulo 1.** Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasilx

<b>Figura 1.</b> Localização do lago de Balbina, indicando as áreas de estudo .....	20
<b>Figura 2.</b> Áreas de medidas: a) tanques rede e b) ponto controle .....	21
<b>Figura 3.</b> Instrumentos para medidas de variáveis ambientais: a) Estação meteorológica e b) sensores de temperatura e oxigênio .....	22
<b>Figura 4.</b> Materiais de coleta de gases. a) Câmaras estáticas, b) método headspace, c) funis invertidos, d) frascos de 30 ml .....	23
<b>Figura 5.</b> Variação dos fluxos de gases entre as áreas de coleta, tanque rede, controle e profundidade. a) Fluxo de CH <sub>4</sub> entre tanque rede e controle e profundidade. b) Fluxo de CO <sub>2</sub> entre tanque rede e controle e profundidade .....	28
<b>Figura 6.</b> Variação da concentração de CH <sub>4</sub> com a profundidade entre o tanque rede e controle .....	31
<b>Figura 7.</b> Variação da condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre superfície e fundo entre o tanque rede e controle .....	32
<b>Figura 8.</b> Concentração do oxigênio dissolvido (mg/L)entre a superfície e fundo e contra área de tanque rede e ponto controle .....	33
<b>Figura 9.</b> Variação da temperatura entre a superfície e fundo do lago .....	33
<b>Figura 10.</b> Variação diária de vento, temperatura e oxigênio na área de tanques-rede. a) Velocidade do vento. b) Perfil da temperatura em °C c) Perfil de oxigênio em mg/l .....	35
<b>Figura 11.</b> Variação diária de vento, temperatura e oxigênio na área controle. a) Velocidade do vento. b) Perfil da temperatura em °C c) Perfil de oxigênio em mg/l .....	37

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Características da hidrelétrica de Balbina registradas entre 1987–presente.....	19
<b>Tabela 2.</b> Comparação de médias dos fluxos ebulitivos.....	29
<b>Tabela 3.</b> Valores de médias de variáveis ambientais contra locais de tratamento.....	30
<b>Tabela 4.</b> Valores de médias de variáveis ambientais contra profundidade.....	31

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido na área do lago de Balbina, município de Presidente Figueiredo no estado do Amazonas. Alguns estudos, realizados por Kemenes (2006) e Fearnside (2008), já utilizaram esse reservatório a fim de quantificar a quantidade de gases de efeito estufa (GEEs) emitidos para a atmosfera indicando além dos elevados índices de emissão, que há um baixo aproveitamento energético.

A potência gerada pelo reservatório de Balbina é baixa, embora tenha alagado uma área de 2.600 km<sup>2</sup> de floresta, a hidrelétrica tem uma produção energética de 250 MW. Como forma de aproveitamento desse lago e com o intuito de desenvolver a produção pesqueira da região, o governo do estado pretende implantar um parque aquícola. Porém, o aumento de matéria orgânica sendo depositado nessa área e o aumento do consumo do oxigênio dissolvido na água pode elevar ainda mais as emissões de metano e gás carbônico, os principais gases do efeito estufa de origem antropogênica, depois do vapor de água.

Nesta pesquisa foi avaliado o impacto da piscicultura em duas áreas dentro da represa de Balbina. A primeira área contém os 8 tanques rede com total de 4 mil indivíduos da espécie *Colossoma macropomum* (tambaqui) e a segunda área serviu como ponto controle, pois não sofre influência da piscicultura. Os dados obtidos das análises das duas áreas foram comparados para diagnosticar o impacto sobre os GEEs. Além de medir emissões de metano e de gás carbônico, foram feitas medidas meteorológicas (temperatura, umidade e pressão atmosférica, direção e velocidade do vento), e de qualidade da água, como temperatura, PH, oxigênio dissolvido e condutividade.

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo Geral

Avaliar os impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ) no reservatório da UHE de Balbina.

### Objetivos Específicos

Determinar se existem diferenças nas emissões de gases de efeito estufa entre áreas de tanques-rede com a atividade de piscicultura e na área sem essa atividade.

Determinar se existem diferenças sazonais nas emissões de gases de efeito estufa nestas áreas.

Franco, D. S.; Forsberg, B.R. 2013. **Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasil.**

**Capítulo 1.** Avaliação dos impactos da atividade de piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de gases de efeito estufa no reservatório da UHE de Balbina, Amazonas, Brasil.

## RESUMO

A piscicultura em reservatórios artificiais vem crescendo no país e os impactos provenientes dessa prática precisam ser avaliados para evitar danos ao ecossistema. Um dos impactos previstos é o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) associado ao aumento de carga de material orgânico ao sistema. O Governo do Amazonas, desde 2007, estuda a implantação da piscicultura no lago da usina hidrelétrica de Balbina, município de Presidente Figueiredo a 170 km de Manaus – AM, onde já existe um projeto piloto com 8 tanques. Este trabalho objetivou avaliar os impactos da piscicultura em tanques-rede sobre as emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Para este estudo foram feitas medidas de emissão difusiva e ebulitiva de GEEs entre fevereiro a maio de 2013. A emissão difusiva foi medida utilizando câmaras estáticas flutuantes, onde uma série temporal de amostras (15 minutos total) de gás foi coletada com seringas de 60 ml e armazenada em frascos de 30 ml. A emissão ebulitiva foi medida com funis invertidos, submersos, incubados por um período de 24 horas. Todas as amostras de gás foram analisadas para CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> por Cromatografia Gasosa, no INPA em Manaus. O fluxo difusivo de CH<sub>4</sub> variou de 0,003 a 189 mgC/m<sup>2</sup>/dia com média de 8,47 mgC/m<sup>2</sup>/dia e o fluxo de CO<sub>2</sub> variou de -1,65 a 183,518 mgC/m<sup>2</sup>/dia com média de 6.354 mgC/m<sup>2</sup>/dia. Não havia diferença significativa nos fluxos difusivos entre as áreas de controle e tanques - rede. O fluxo ebulitivo de metano variou entre 1,23 e 7,01 mgC/m<sup>2</sup>/dia e o de CO<sub>2</sub> variou de 0,005 a 0,110 mgC/m<sup>2</sup>/dia na área de tanque rede. O fluxo ebulitivo de metano na área de tanque - rede era significativamente maior do que aqueles medidos em outras partes da represa, enquanto o fluxo de CO<sub>2</sub> não foi significativamente diferente. Não houveram zonas anóxicas na coluna de água nos dois locais (tanque rede e controle) nem diferenças significativas nas concentrações de CH<sub>4</sub>,



CO<sub>2</sub>, oxigênio, temperatura, pH ou condutividade entre eles. A homogeneidade relativa entre os locais foi o resultado de intensa mistura vertical e horizontal e explica a similaridade das emissões difusivas encontradas. A maior emissão ebulitiva de metano no local de tanques-rede reflete o maior acúmulo de detritos orgânicos nos sedimentos desta área. Os resultados mostraram o papel importante da hidrodinâmica em minimizar os impactos dos tanques-rede na coluna de água. Porém o impacto dos resíduos sólidos que acumulam embaixo dos tanques foi significativo e terá que ser considerado nos esquemas de futuros sistemas de piscicultura.

**Palavras-chave:** Piscicultura, gases de efeito estufa, reservatórios.

## 1. Introdução

A atmosfera terrestre é composta de uma mistura de gases, sendo que a maior parte é Oxigênio ( $O_2$ ) e o Nitrogênio ( $N_2$ ), que juntos somam 99% do seu volume total. O restante está distribuído dentre os demais gases, incluindo os causadores do efeito estufa (GEEs), que são os gases traços. A temperatura relativamente constante e o clima moderado do planeta se devem ao “efeito estufa”, um fenômeno dependente de alguns gases presentes na troposfera terrestre (Santos, 2000).

O  $CH_4$  (metano), o  $CO_2$  (gás carbônico), o  $N_2O$  (óxido nitroso), os CFC11, os CFC12 (clorofluorcarbonetos), o  $O_3$  e o  $H_2O$  são os GEEs (gases de efeito estufa) mais conhecidos (Schlesinger, 1997). As concentrações destes gases têm variado naturalmente ao longo da história da terra. Porém ações do homem desde a época pré - industrial, incluindo a queima de combustíveis fósseis (energia, transporte e indústria) e mudanças no uso do solo e da água, vem contribuindo para o aumento acentuado da concentração desses gases na atmosfera. As concentrações atuais de  $CH_4$ ,  $CO_2$  e  $N_2O$  na atmosfera são, respectivamente, 1800 ppb, 400 ppm, 324 ppb (The Guardian, 2012).

A Amazônia contribui de forma natural e também antrópica para a emissão de GEEs através de mudanças no uso da terra e no uso da água. Autoridades do setor energético anunciaram planos para construir dezenas de hidrelétricas na região amazônica brasileira, bem como nas partes amazônicas de países vizinhos, como Peru e Bolívia. O atual Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), ainda em discussão, prevê 48 novas grandes barragens na Região Norte (MME, 2011).

O represamento de um rio para a produção de energia elétrica pode alagar extensas áreas de vegetação terrestre (Kemenes, 2007). A maior parte das plantas

submersas morre e entra em decomposição, gerando CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, que são liberados para a atmosfera por muitos anos. Parte desses gases é liberada, por difusão ou ebulição, na superfície da água. Outra parte é liberada abaixo das barragens, na saída das turbinas, devido à queda da pressão hidrostática (assim como parte do gás de um refrigerante sai logo que se abre a garrafa). Uma terceira parcela é lançada na atmosfera lentamente, por difusão, ao longo do canal dos rios, abaixo das barragens Kemenes *et. al.* (2008) aumentando a contribuição do Brasil nas emissões globais de GEEs (Fearnside, 2008).

Alguns desses reservatórios têm sido utilizados para a piscicultura que se encontra em franca expansão, apresentando grande potencial de mercado, ocupação e renda, além de ser uma das melhores atividades zootécnicas para investimento, dada à queda observada na produção do pescado de extrativismo (Bueno, 2011).

O cultivo de peixes em tanque-rede em reservatórios é a alternativa de investimento de menor custo e maior rapidez de implantação, que possibilitará um adequado aproveitamento destes recursos hídricos e a rápida expansão da piscicultura industrial no país (Bueno, 2011). Porém os resíduos gerados por estes sistemas, constituídos por alimentos não ingeridos e produtos do metabolismo dos peixes, quando liberados no ambiente, aumentam a carga de material orgânico e as concentrações de nitrogênio e de fósforo na água favorecendo a proliferação de bactérias, algas e macrófitas aquáticas (Mallasen, 2008).

Em 2007 o governo do estado do Amazonas lançou o projeto de implantação de um parque aquícola no lago de Balbina, município de Presidente Figueiredo –AM com a meta de produção de três toneladas de peixe ao ano por família, totalizando cerca de 420 toneladas de pescado, o que representará um faturamento bruto estimado em torno de R\$ 1,32 milhão (MPA, 2010). A piscicultura quando implantada em grande escala e de forma desordenada nos reservatórios pode resultar no esgotamento do oxigênio

dissolvido no fundo do reservatório e até mesmo ao longo da coluna d'água, aumentando assim as emissões de metano e gás carbônico, que já estão altas nestes ambientes. É necessário quantificar as emissões específicas associadas às atividades de piscicultura para poder dimensionar a escala destas operações e minimizar sua contribuição para o aquecimento global.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de Estudo

O lago da hidrelétrica de Balbina (01°55' S 59°29' W) com área de 2.500 Km<sup>2</sup>, a barragem de Balbina foi construída no ano de 1987, em Presidente Figueiredo, barrando o rio Uatumã a 170 km de Manaus. A capacidade instalada é de 250 MW, com cinco geradores de 50 MW cada. Entretanto, a vazão de água e a capacidade real de geração de Balbina é menor devido à pequena bacia hidrográfica a montante da barragem e a variação sazonal da vazão característica dos rios dessa região, os dados hidrológicos da área estão descritos na tabela 1. A produção média da represa foi estimada em apenas 112 MW, com uma capacidade geradora por unidade de área inundada de 0,11 MW km<sup>-2</sup> (Fearnside,1989). Na área do reservatório foram instalados 8 tanques-rede com capacidade para 500 indivíduos cada, localizados na figura 1.

**Tabela 1.** Características da hidrelétrica de Balbina registradas entre 1987 – presente (ELETRONORTE, 2006).

<b>Dados hidrológicos</b>	
Área de drenagem da bacia a montante da barragem	18.450 km <sup>2</sup>
Vazão máxima registrada	1750 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Vazão mínima registrada	4,9 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Altura máxima da barragem em relação ao leito do rio	33,5 m
Profundidade máxima registrada	31,11 m
Profundidade mínima registrada	26 m
Volume útil	5.960x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume total acumulado	17.533x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Tempo de residência	11,7 meses



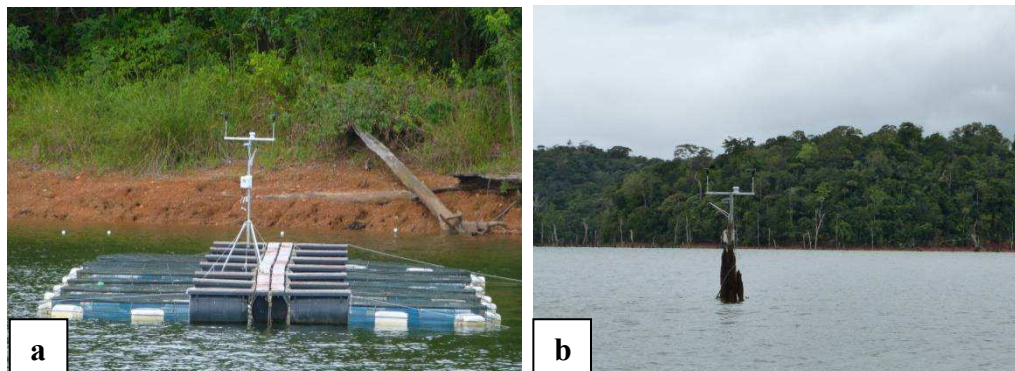
**Figura 1.** Localização do lago de Balbina, indicando as áreas de estudo. Foto: Google Earth.

## 2.2 Delineamento Amostral

Para investigar o impacto da piscicultura sobre as emissões de GEEs no reservatório, medidas de emissão destes gases foram realizadas em dois locais distintos, um com a presença de tanques-rede e um numa região longe dos tanques, denominado controle. Na primeira área (figura 2a) 12 tanques-rede foram instalados pelo governo do Estado do Amazonas como projeto piloto para implantação de um parque aquícola na região, mas somente 8 estavam ativos, com 500 exemplares cada de *Colossoma macropomum*, popularmente conhecido como tambaqui. A área controle (figura 2b) apresentava características semelhantes, mas ficava 3 km distante aproximadamente do primeiro ponto para evitar influencia das atividades de piscicultura. Três (3) pontos de coleta foram definidos em cada área.

Em cada ponto foram realizadas medidas de emissão difusiva e emissão ebulitiva de GEEs. Uma série de variáveis independentes também foram medidas nestes pontos para verificar a influência dessas características nos fluxos e emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, incluindo medidas de temperatura, oxigênio dissolvido, pH condutividade, CO<sub>2</sub> dissolvido e CH<sub>4</sub> dissolvido na superfície e fundo da coluna de água. Perfis verticais de temperatura e oxigênio foram medidos

continuamente em cada local para avaliar suas variações no padrão de estratificação e mistura da coluna vertical.



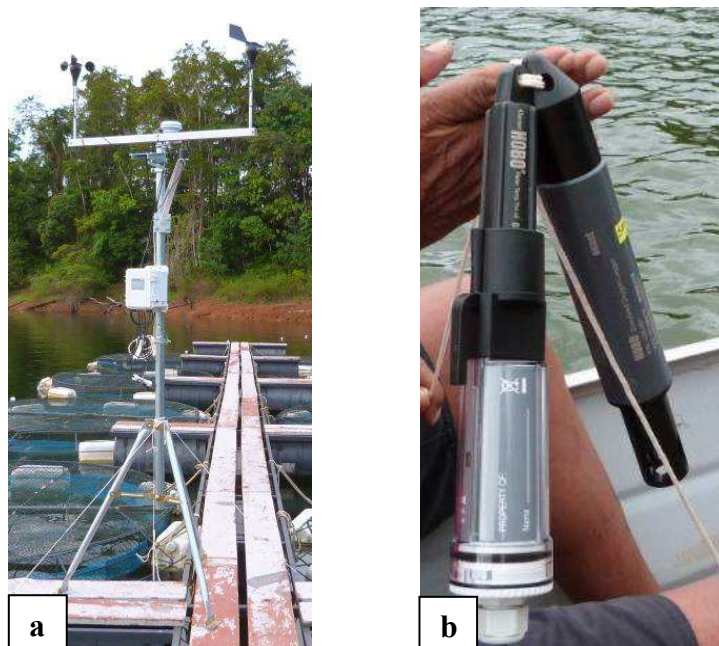
**Figura 2.** Áreas de medidas: a) tanques-rede e b) ponto controle.

### **2.3 Métodos para estimar a emissão gases do efeito estufa (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>)**

#### **2.3.1 Variáveis ambientais**

Para monitorar a padrão de estratificação e mistura, nas duas áreas estudadas, foi utilizado um conjunto de sensores meteorológicos e limnológicos, (figura 3a e b). Os sensores meteorológicos (Onset, Inc.) coletaram informações sobre temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação e velocidade e direção do vento. Simultaneamente, uma corrente de sensores subaquáticos (Onset, Inc. U22-001 e U26-001) coletaram informações sobre temperatura e oxigênio dissolvido. Todos os sensores coletavam informações em intervalos de 5 minutos durante um período de 24 horas para poder caracterizar o padrão de estratificação e mistura.

A temperatura e a concentração de oxigênio na superfície e no fundo foram medidas *in situ* com um oxímetro (YSI, Inc). Condutividade e pH foram medidos *in situ* com instrumentos portáteis (Orion, Inc, 3 star). A água do fundo para análise dos parâmetros acima e de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dissolvido foi coletada com uma garrafa de Van dorn.



**Figura 3.** Instrumentos para medidas de variáveis ambientais: a) Estação meteorológica e b) sensores de temperatura e oxigênio.

A transparência foi determinada por um disco de SECCHI (20 cm de diâmetro) nos pontos coletados e a profundidade máxima, foi medida manualmente, com uma corda com lastro e fita métrica em cada ponto de coleta.

## 2.4 Variáveis dependentes

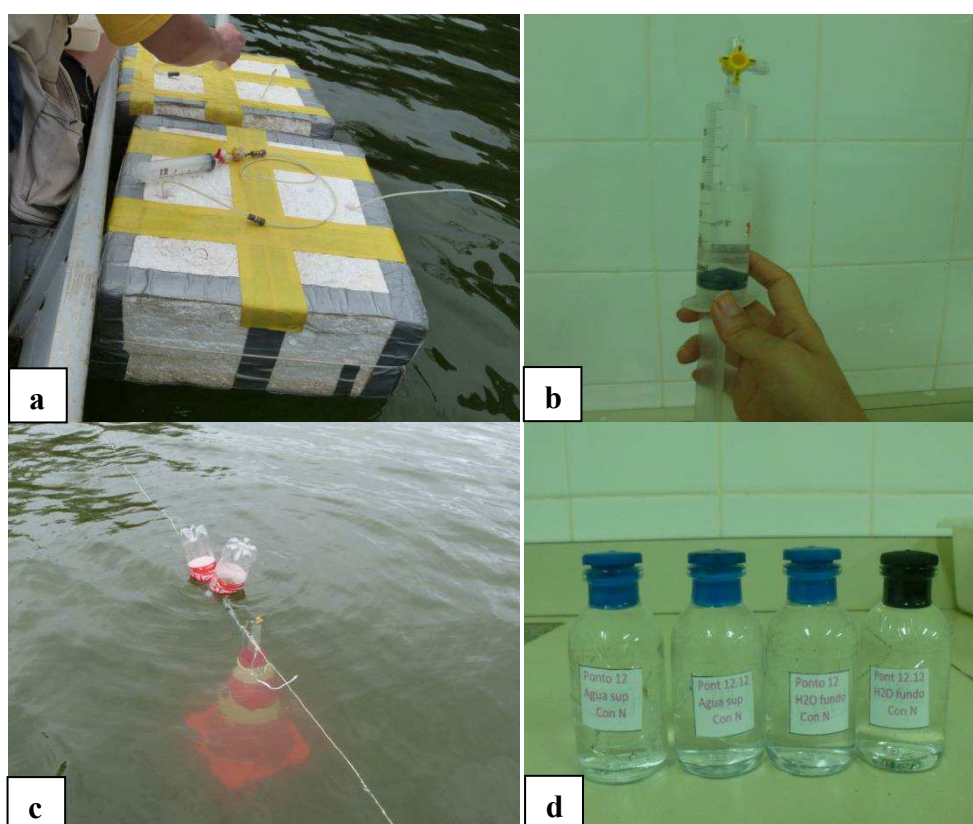
### 2.4.1 Fluxos de gases de efeito estufa (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>)

A taxa de emissão difusiva superficial foi estimada utilizando câmaras estáticas flutuantes ao longo dos três (3) pontos aleatórios de coleta nas duas áreas de estudo. A câmara estática flutuante era composta de uma caixa plástica invertida, arredondada, refletiva e flutuante (figura 4a), com o volume interno fixo (volume: 15 l, área da boca: 0,11 m<sup>2</sup>) e uma válvula externa para coleta com um tubo fino (Kemenes, 2006). O fluxo dos gases foi estimado a partir de uma série temporal de amostras de gás coletadas com seringas de 60 ml em intervalos de 5 minutos durante um período de 15 minutos.



Amostras de água da superfície e do fundo também foram coletadas em cada ponto. As amostras de água foram processadas pelo método head-space, ver figura 4b, para determinar a concentração dissolvida de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Neste método, 30 ml da amostra de água foram equilibradas com 30 ml de ar atmosférico, agitadas vigorosamente cerca de 100 vezes e depois a amostra de gás era coletada e analisada (Hope et al., 1995; Johnson et al., 1990). As amostras contidas nas seringas foram transferidas *in loco* para frascos de vidro (30 ml), figura 4c, previamente preenchido com água destilada e hermeticamente fechado com borrachhas especiais.

As emissões por ebulição foram estimadas com o auxílio de funis invertidos, fig. 4d, com área de boca do funil de  $0,379 \text{ m}^2$  e raio 11 cm, distribuídos em 5 pontos de coleta nas duas áreas amostradas e fixados logo abaixo da superfície do lago. Na porção superior desse funil, foi colocada uma válvula para retirar as bolhas de gás que acumularam no equipamento. O tempo de permanência do funil na água foi de um (1) dia, ao final desse período o gás acumulado foi retirado e o volume anotado. A coleta das amostras de gás foi feita em frascos de vidro 30 ml, como descrito acima.



**Figura 4.** Materiais de coleta de gases. a) Câmaras estáticas, b) método headspace, c) funis invertidos, d) frascos de 30 ml.

Posteriormente, os frascos foram transportados para o Laboratório Temático de Plantas e Solos no INPA, para a determinação das concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. As concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram determinadas em cromatógrafo de gás modelo TRACE GC Ultra (Thermo Scientific), ver figura 5, equipado com o detector FID (Flame ionization detector) para a análise do metano e um TCD para gás carbônico. As concentrações dos gases obtidas da análise do cromatógrafo foram dadas em ppm/v – partes por milhão por volume, a partir desses valores foram feitas transformações:

- 1 ppmv de gás (volume/volume) equivale a 1 ml m<sup>-3</sup>, ou seja, 1 ml/1 milhão de ml;
- 1 mole equivale a 22,4 l, sendo que 1 l = 1/22,4 = 0,044643 moles;
- 1 ml equivale a 4,4643 . 10<sup>-5</sup> moles;

Para os gases que apresentam um átomo de C por molécula como o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>, temos:

- 1 ml = 4,4643 \* 10<sup>-5</sup> moles de C \* 12g.mole<sup>-1</sup> = 5,3 \* 10<sup>-4</sup> gC;
- 1 ml = 0,535716 mgC
- 1 ml = 0,0011 \* 0,535716 mg C = 0,000535716 mg C/l

O coeficiente de partição, Água – Ar, do CH<sub>4</sub> para uma mistura de 50% gás: 50% água e de aproximadamente 27 (Hansch & Leo, 1979) (Belger, 2010) e o coeficiente correspondente para o CO<sub>2</sub> e de 1,5 (Broecker & Peng, 1984) (Belger, 2010), isso a CNPT (27°C). Assim:

Para o CH<sub>4</sub>:

Expressando o coeficiente de partição como uma proporção, temos que (27 + 1): 27 = 1,037, assim,  
 mgC m<sup>-3</sup> = C ppmv \* 1,037 \* 0,535716 = C ppmv \* 0,5555 (em eq C)

Para o CO<sub>2</sub>:

Expressando o coeficiente de partição como uma proporção, temos que (1,5 + 1): 1,5 = 1,667, assim,  
 mgC m<sup>-3</sup> = C ppmv \* 1,667 \* 0,535716 = C ppmv \* 0,893 (em eq C).

## 2.5 Cálculo das emissões de gases por área inundada

As concentrações de gases, convertidas para unidades de carbono, foram utilizadas para estimar as taxas de emissão por unidade de área. No caso das medidas de emissão total, as concentrações das amostras coletadas foram relacionadas contra o tempo através de equações de regressão linear. Depois, a inclinação dessa regressão ( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{dia}$ ) transformados como descrito acima, foi multiplicada pelo volume (em litros) da câmara e dividida pela área superficial da entrada da câmara ( $\text{m}^2$ ) para obter a emissão diária ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{dia}$ )

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

Onde,

F = valor da taxa de emissão difusiva de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  em  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{dia}$ ;

B = valor do coeficiente angular da regressão entre concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  e o tempo

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

A = valor da área da câmara flutuante, em  $\text{m}^2$ .

No caso das medidas de emissão ebulitiva, a concentração de gás ( $\text{mgC}/\text{m}^3$ ) foi multiplicada pelo volume acumulado ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) e depois dividida pela área da entrada do funil ( $\text{m}^2$ ) para obter uma emissão diária de bolhas ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), (Kemenes, 2006).

$$F = (v \times c)/(t \times A) \text{ (Belger, 2010)}$$

Onde,

F = valor da taxa de emissão ebulitiva de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , em  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{dia}$

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

c = valor da concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , em  $\text{mgC}/\text{l}$

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

A = área do funil,  $\text{m}^2$

## **2.6 Análise de dados**

A influência de local e período sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> foi investigada com Análise de variância (ANOVA). A influência de local e profundidade sobre algumas variáveis ambientais também foi investigada por ANOVA. Diferenças nos níveis de parâmetros ambientais entre locais e períodos e emissões ebullitivas foram investigadas com Teste T.

### 3. Resultados e discussão

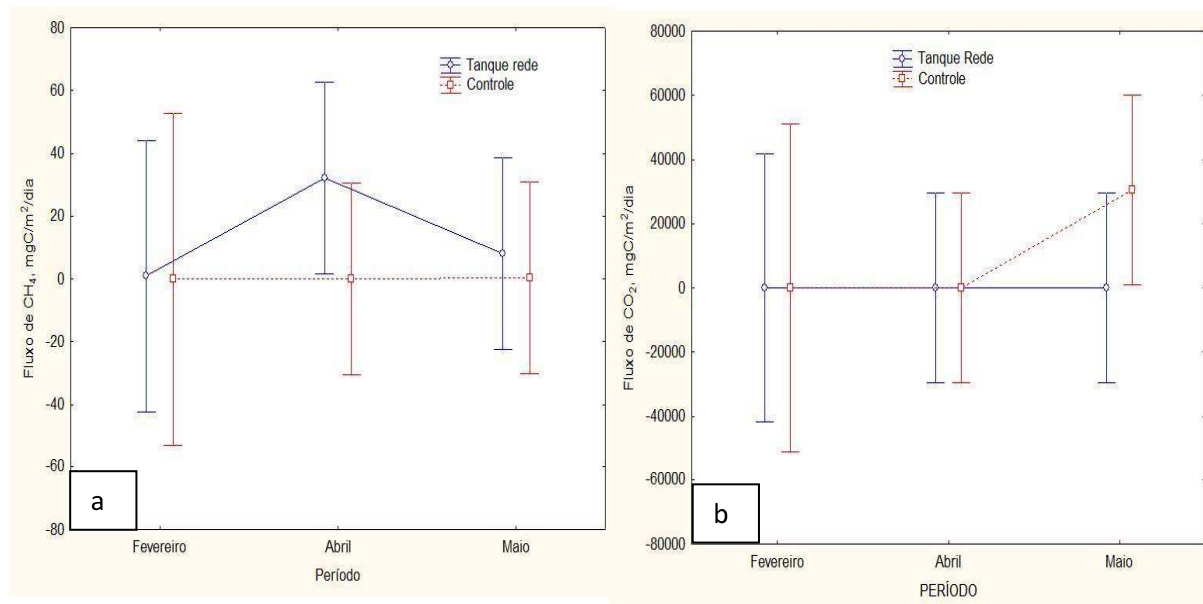
#### 3.1 Fluxos de emissão difusiva

Os fluxos de emissão difusiva de CH<sub>4</sub> variaram de 0,003 a 189 mgC/m<sup>2</sup>/dia e média de 8,473 mgC/m<sup>2</sup>/dia, não houve diferença significativa entre os tratamentos, área controle e tanques-rede para CH<sub>4</sub> (ANOVA: F (1;29) = 1,544;p= 0,025). Nas medidas de Kemenes (2007), as taxas de emissão de metano variaram de 5 – 343 com um valor médio de 47 mgC/m<sup>2</sup>/dia. No entanto, Barros (2011) relata que as emissões de GEEs diminuem de acordo com a idade do reservatório, corroborando com os nossos resultados.

Os fluxos de emissão difusiva CO<sub>2</sub> variaram de -1,650 a 183.518 mgC/m<sup>2</sup>/dia com média de 6.354 mgC/m<sup>2</sup>/dia, não houve diferença significativa entre os tratamentos, área controle e tanques-rede para CO<sub>2</sub> (ANOVA: F (1;29) = 1,073;p= 0,309). Segundo Kemenes (2006), as taxas de emissão difusiva de gás carbônico variaram de 343 - 8.528 mgC/m<sup>2</sup>/dia e média de 3.776 mgC/m<sup>2</sup>/dia. A vagarosa decomposição que ocorre na floresta morta alagada e no solo submerso estariam sustentando o metabolismo anaeróbico das bactérias do fundo dos lagos das hidrelétricas (Abril et al., 2005) e um aumento de matéria orgânica sendo liberada no sistema através de restos de ração dos peixes, fezes e urina podem ter contribuído para um aumento na média difusiva de CO<sub>2</sub> comparados com estudos no ano de 2004 e 2005.

A emissão de gás carbônico foi mais intensa do que a de metano. Resultado semelhante foi encontrado em Petit-Saut (Galy-Lacaux, 1999; Abril et al., 2005) e Balbina (Kemenes, 2006). Apesar de quantias menores, o metano é considerado com maior potencial de aquecimento. O impacto de uma tonelada de CH<sub>4</sub> sobre o aquecimento global, integrado durante 100 anos, é 21 vezes maior do que de CO<sub>2</sub> (Lelieveld et al., 1998).

Os fluxos de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  não tiveram diferenças significativas entre os meses de coleta nas duas áreas estudadas como mostrado nas figuras 5a e 5b.



**Figura 5:** Variação dos fluxos de gases entre as áreas de coleta, tanque rede, controle e profundidade. a) Fluxo de  $\text{CH}_4$  entre tanque rede e controle e profundidade. b) Fluxo de  $\text{CO}_2$  entre tanque rede e controle e profundidade.

### 3.2 Fluxos de emissão ebulitiva

Não houve capturas de bolhas com volume significativo no ponto controle para poder comparar com os resultados da área de tanques rede, por isso, esses dados foram comparados com os estudos de Kemenes (2006) que avaliou as emissões ebulitivas para todo o lago de Balbina. Foi aplicado um Test t, assumiu-se que os resultados de fluxos ebulitivos de Kemenes (2006) era o controle e comparando com os fluxos da área de tanques-rede, (tabela 2).

Os resultados de Kemenes (2006), estimaram uma emissão ebulitiva total de  $\text{CH}_4$  de  $34 \text{ GgC/ano}^{-1}$  para o reservatório de Balbina e um total das emissões da hidrelétrica de  $73 \text{ GgC/ano}^{-1}$ . Neste estudo houve uma diferença significativa nos fluxos ebulitivos de

CH<sub>4</sub>, com um aumento em média de 3,125 mgC/m<sup>2</sup>/d o que representa 6,6 % do fluxo total ebulitivo e um aumento no total de 3,3% das emissões totais num cenário onde toda a área do reservatório fosse coberta com tanques-rede com a mesma densidade de peixes atualmente e assumindo que não haveria aumento nos emissões difusivas.

**Tabela 2.** Comparação de médias dos fluxos ebulitivos.

Variáveis	Média (Kemenes)	Média (taques rede)	p
CH <sub>4</sub> mgC/m <sup>2</sup> /dia	0.469	3.594	0.006186
CO <sub>2</sub> mgC/m <sup>2</sup> /dia	0.022	0.038	0.715681

O aumento nas emissões ebulitivas era esperado e se deu devido ao acúmulo de excretas dos peixes no fundo do lago. Essa região não sofre influência dos movimentos horizontais e verticais e torna-se propícia à ação de bactérias anaeróbias e favorece a produção do metano.

### 3.3. A influência de fatores ambientais nas concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

Algumas variáveis ambientais que poderiam influenciar nas concentrações de GEEs foram medidas junto com os fluxos e concentrações de gases no lago de Balbina.

Uma análise de Teste t foi aplicada para avaliar a significância dessas variáveis nas concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> contra os locais de tratamento, tanque rede e controle (tabela 3) e a profundidade desses locais ( tabela 4).

Não houve uma diferença significativa entre as concentrações quando comparado as variáveis ambientais e o tratamento. Nos tanques-rede teve um pequeno aumento na concentração de CH<sub>4</sub>, isso pode ser relacionado com um incremento na carga de matéria orgânica e sedimentos ao fundo dessa área havendo uma maior

produção desse gás. Na área controle a concentração de CO<sub>2</sub> apresentou um leve aumento e os menores valores na média de O<sub>2</sub> dissolvido aconteceram também nessa área indicando um consumo desse oxigênio, o que favorece a produção de gás carbônico por bactérias que decompõem essa matéria orgânica presente na água. A condutividade foi maior nos tanques-rede, o que já era esperado, pois quando esses sedimentos se acumulam no fundo liberam sais minerais o que favorece esse aumento, como mostrado na tabela 2. Essas bacias onde estão localizadas as áreas estudadas sofrem constantes processos de mistura da água, tanto horizontalmente como verticalmente, não havendo o acúmulo desses gases na superfície, por isso não encontramos diferenças nessas concentrações entre as duas áreas.

**Tabela 3.** Valores de médias de variáveis ambientais contra locais de tratamento.

	Média TR	Média CONT	t-value	df	p
CH <sub>4</sub>	7.589	6.460	0.69940	55	0.487252
CO <sub>2</sub>	2158.811	2448.248	-0.96565	56	0.338372
PH	6.123	6.029	0.99946	56	0.321871
O <sub>2</sub>	5.010	4.996	0.04492	56	0.964328
COND	9.153	8.646	1.26405	56	0.211449
TEMP	29.667	29.957	-1.77276	56	0.081708

Verificando a influência das variáveis ambientais nas concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> contra a profundidade, observou-se uma relação significativa entre a concentração de CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, Condutividade elétrica e Temperatura (tabela 3). O valor maior da concentração de metano no fundo era esperado, pois havendo estratificação termal, isolando o fundo do lado da superfície, cria uma zona anóxica no fundo aumenta a produção de metano através das bactérias anaeróbias pelo processo de metanogênese. O acúmulo de sedimentos no fundo do lago também influencia para o aumento da condutividade elétrica, devido à ação das bactérias sobre os sedimentos liberarem sais minerais no ambiente.

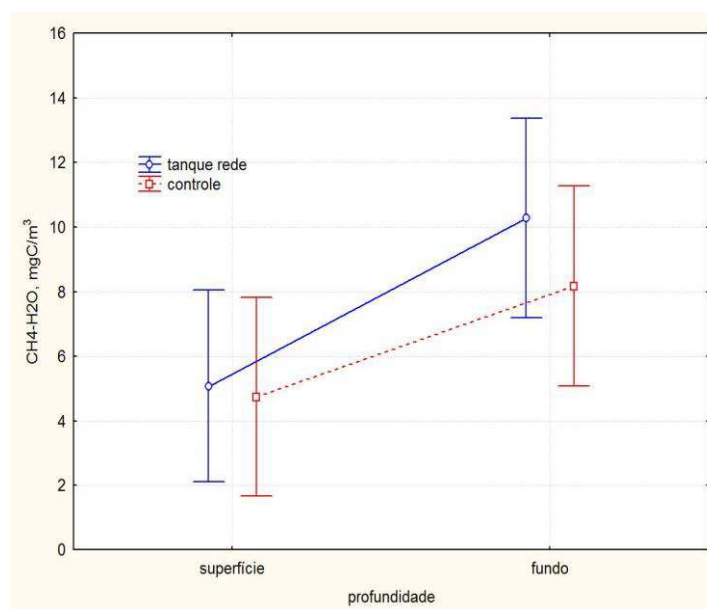


**Tabela 4.** Valores de médias de variáveis ambientais contra profundidade

	Média 1 Sup.	Média 2 Fun.	t-value	df	p
CH4	4.914	9.230	-2.85172	55	0.006113
CO2	2072.992	2524.086	-1.52417	56	0.133095
PH	6.110	6.045	0.68823	56	0.494147
O2	5.745	4.262	6.50880	56	0.000000
COND	8.423	9.393	-2.51302	56	0.014875
TEMP	30.083	29.531	3.64701	56	0.000583

Porém, quando inter-relacionamos essas variáveis com os tratamentos (tanques-rede e controle) e a profundidade não há uma diferença significativa.

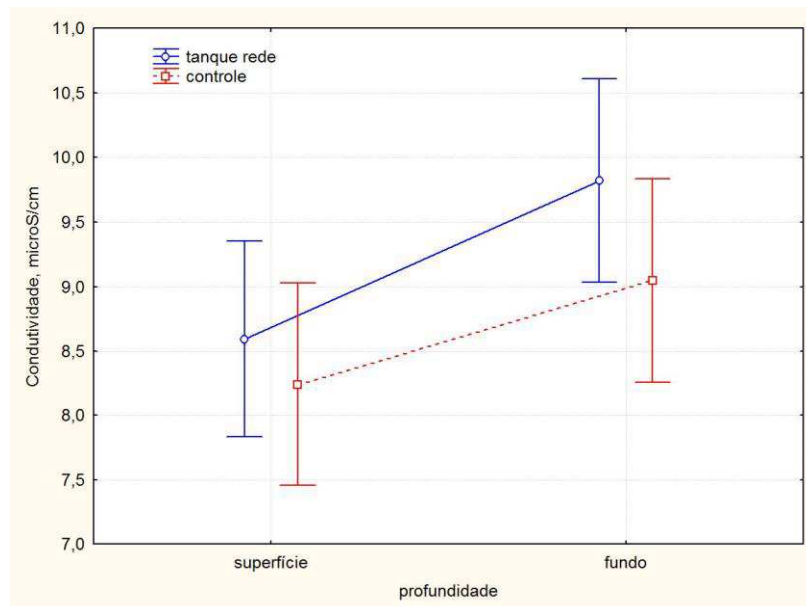
Analisando a figura 6, não houve uma influencia significativa de local e profundidade sobre a concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido (ANOVA:  $F(1,53) = 0.33613$ ,  $p = 0.56453$ ), Houve um aumento na concentração de metano no tanque-rede e no fundo e isso pode ser devido a adição de ração e dos excretas dos peixes nesse local.



**Figura 6.** Variação da concentração de CH<sub>4</sub> com a profundidade entre o tanque rede e controle.

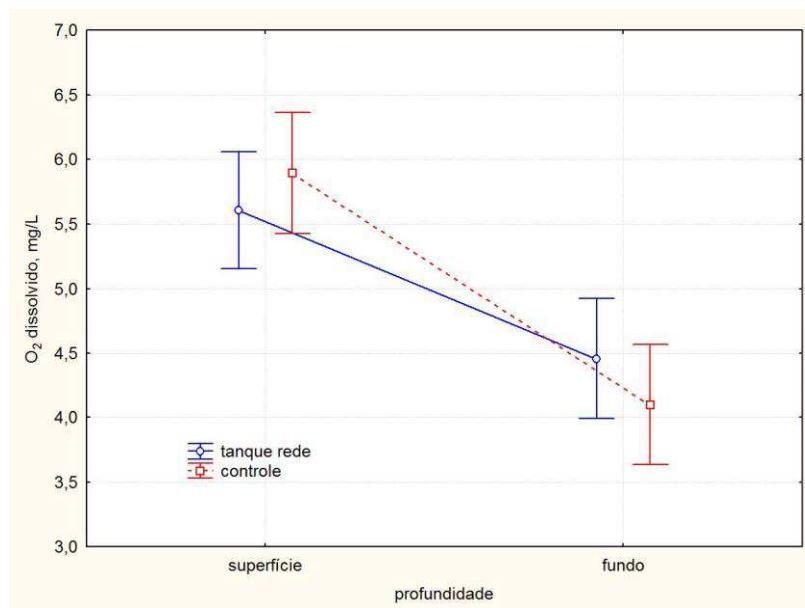
Também não houve uma influência significativa de local e profundidade sobre a condutividade elétrica (ANOVA:  $F(1,54) = 0.16234$ ,  $p = 0.68860$ ). Porém, o aumento no

fundo do lago na área de tanques-rede, como explicado anteriormente, está associado à sedimentação de matéria orgânica, (figura 7).



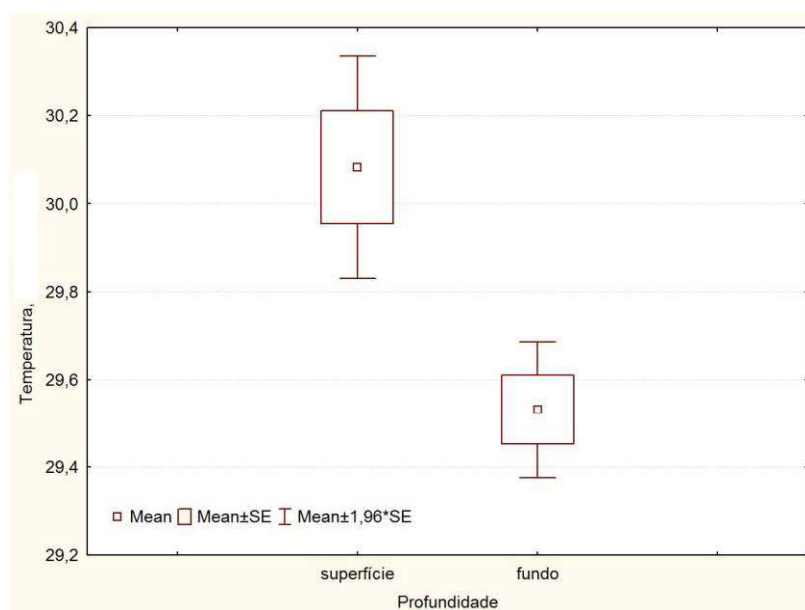
**Figura 7.** Variação da condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  entre superfície e fundo entre o tanque rede e controle.

Na figura 8, podemos observar que não houve uma influencia significativa de local ou profundidade sobre a concentração de oxigênio (Figura 8) (ANOVA,  $F(1, 54) = 1.7209$ ,  $p = 0.19513$ ) nesse caso as taxas tiveram um aumento discreto no ponto controle e na superfície, os menores valores foram detectados no fundo e na mesma área. A estratificação térmica que isola a camada do fundo com temperaturas menores, da camada da superfície que apresentam temperaturas maiores, torna o ambiente com condições favoráveis à ação de bactérias, caindo assim o consumo de oxigênio no fundo como o mostrado abaixo, em ambos os locais, independente da prática de piscicultura.



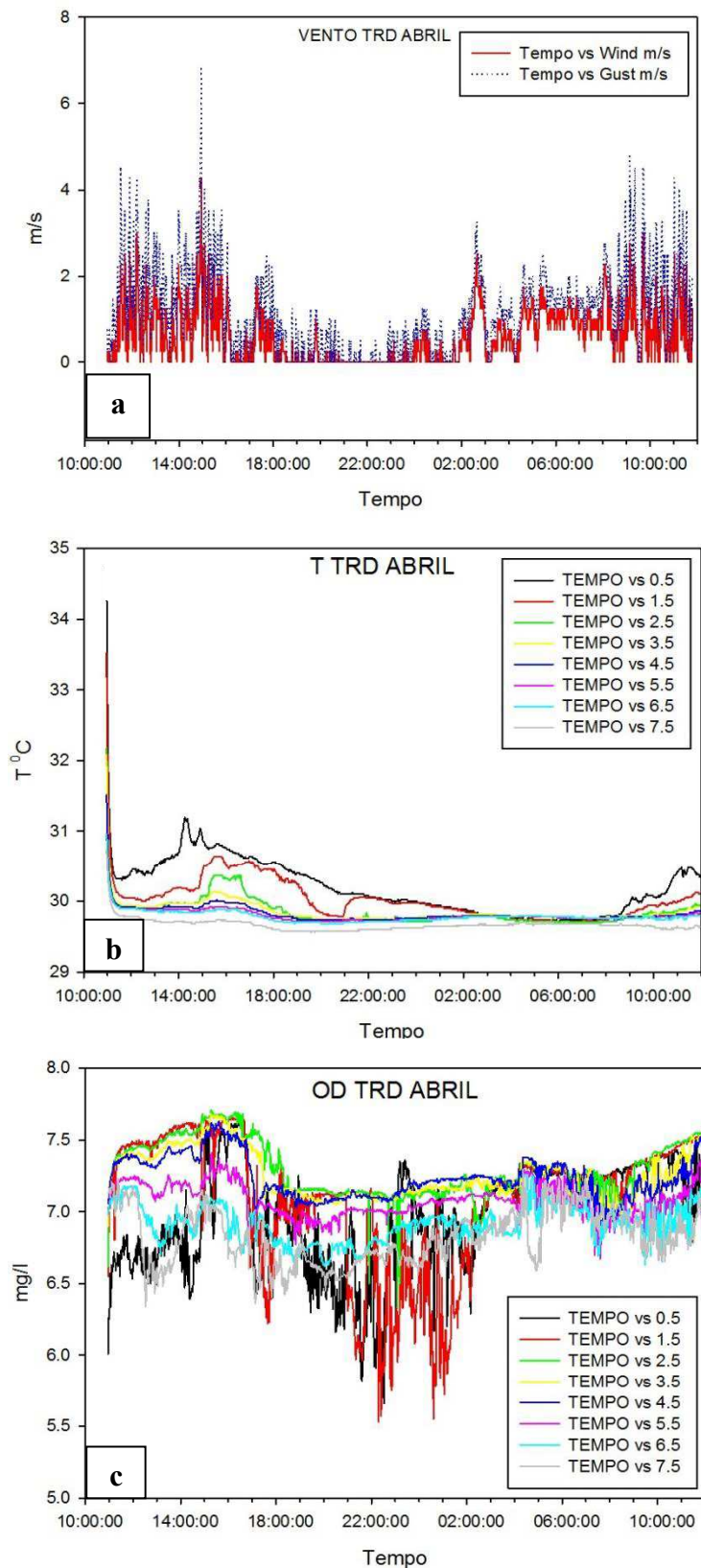
**Figura 8.** Concentração média de oxigênio dissolvido (mg/l) entre a superfície e fundo e contra área de tanque rede e ponto controle.

A temperatura na superfície apresentou valores maiores, variando de 29,8 a 30,3°C e uma média de 30,1°C. O fundo do lago apresentou menores temperaturas variando de 29,4 a 29,7°C e média de 29,5°C, ( figura 9). Diferenças na temperatura ao longo da coluna d' água indicam uma estratificação termal e é um fator importante na produção de gases, principalmente metano.



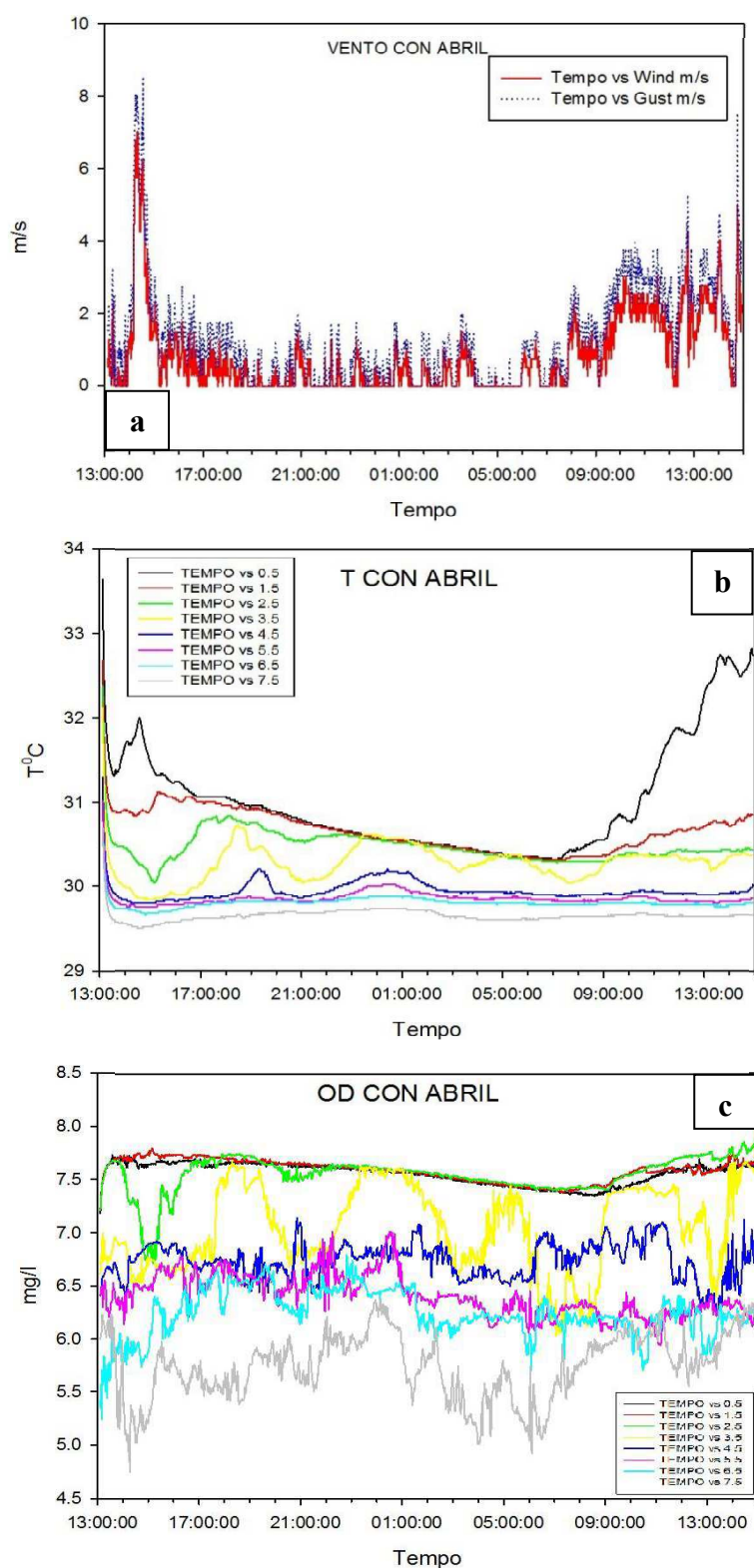
**Figura 9.** Variação da temperatura entre a superfície e fundo do lago.

O perfil de temperatura e oxigênio ao longo da coluna d'água, durante um período de vinte e quatro horas nos mostrou um processo de mistura tanto horizontal como vertical, nos tanque-rede (figura 10). O local onde os tanques estão instalados é uma área aberta que sofre muito a influência do vento, favorecendo processos turbulentos e padrões de mistura vertical e horizontal desse lago. MacIntyre, (2002), relata que esses padrões de ondas internas e movimentos verticais ocorrem com frequência em lagos tropicais e são relacionados também com a velocidade e direção do vento (figura 10a) . A temperatura variou de 29,7 a 34,8°C (figura 10b) e o oxigênio dissolvido 5,5 a 7,6 mg/l (figura 10c) para uma profundidade de 7,5 metros. Durante o dia a velocidade do vento era mais elevada e constante resultando num padrão de estratificação relativamente fraca de temperatura e de oxigênio. Durante a noite, com o esfriamento da camada superficial, a estratificação termal foi reduzida gradativamente até a coluna se tornar completamente isotermal às 6 horas de manhã, este padrão é comum em lagos de regiões tropicais, segundo MacIntyre (2002), influenciando nas taxas de concentração do metano e gás carbônico, assim caracteriza um sistema dinâmico com muita mistura de líquidos que não permite um acúmulo de gases na superfície do lago e, portanto, os fluxos difusivos também serão menores.



**Figura 10.** Variação diária de vento, temperatura e oxigênio na área de tanques-rede. a) Velocidade do vento. b) Perfil da temperatura em °C c) Perfil de oxigênio em mg/l.

Na área controle houve uma estratificação térmica mais evidente durante o dia e a temperatura variou de 29,7 a 33, 8 °C (figura 11b) e o oxigênio dissolvido variou de 4,7 a 7,8 mg/l (figura 11c) para uma profundidade de 7,5 metros. Este também foi um dia parcialmente nublado, mas com pouco vento durante a maior parte do dia (figura 11a). Estas condições produziram uma estratificação de temperatura e de oxigênio mais forte. Esta situação mudou no final do dia quando havia um período de vento elevado que durou aproximadamente uma hora (18-19 h) que desestabilizou a estratificação e provocou uma forte onda interna ou “seiche” contribuindo com a mistura de matéria orgânica e a homogeneização lago e evidenciaram correntes horizontais. Ondas similares foram encontradas por MacIntyre (2002) no lago Victória.



**Figura 11.** Variação diária de vento, temperatura e oxigênio na área controle.

a) Velocidade do vento. b) Perfil da temperatura em °C c) Perfil de oxigênio em mg/l.

#### 4. Conclusão

Não houve um impacto da piscicultura sobre os fluxos de emissão difusiva de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$ , associado a uma mistura horizontal e vertical dessa água o que não permite o acúmulo de altas concentrações desses gases, devido essas bacias sofrerem processos turbulentos, ocasionados pelo vento e aumento da temperatura na superfície do lago gerando ondas internas.

Os excretas liberados pelos peixes, urina e principalmente as fezes podem contribuir na deposição de matéria orgânica, por serem mais pesadas afundam e se acumulam no fundo do lago, o que podem causar um aumento na concentração de metano e formação de bolhas, incrementando as taxas de emissões ebulitivas do  $\text{CH}_4$  e por ter o potencial de aquecimento 21 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ , contribuindo para maximizar os efeitos das atividades antrópicas sobre as emissões de GEEs.

Padrões de misturas verticais e horizontais através de ondas internas foram registrados pelos perfis de temperatura e oxigênio ao longo da coluna d'água, o que nos ajuda a compreender melhor os processos de mistura e de transporte de material particulado e de excretas, compreendendo também o impacto nas concentrações e fluxos de metano e gás carbônico. Mais trabalhos precisam ser realizados para caracterizar bem o comportamento desses processos turbulentos e suas consequências no sistema.

As medidas dos parâmetros físico-químicos da água precisam ser continuamente avaliadas, pois tem influência direta na decomposição dos sedimentos e contribuição direta na produção do  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

O número de tanques-rede e a densidade de peixes ainda são baixas, esse cenário pode mudar com a produção em larga escala de pescado. Por isso é preciso mais estudos a fim de um maior controle dessas emissões. Medidas podem ser tomadas para tentar minimizar esses impactos, como um menor desperdício de ração depositada no reservatório e a capacidade de suporte desses tanques.



A Amazônia tem um grande potencial hídrico e vários projetos de Usinas hidrelétricas estão em andamento ou em fase de liberação e implantação na região, mas os impactos causados com essa energia podem afetar nas mudanças climáticas globais. A piscicultura em tanques-rede vem sendo utilizada como forma de aproveitar esses reservatórios construídos com as barragens dessas hidrelétricas, como por exemplo, no Rio São Francisco, e é fundamental o controle dos impactos causados por essa prática.

## 5. Referências

- ABRIL, G.; GUERIN, F.; RICHARD, S.; DELMAS, R.; Galy-Lacaux, C.; Gosse, P.; Tremblay, A.; Varfalvy, L.; Santos, M. A. & Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19: 1-16.
- BARROS, N.; COLE J.; LARS, J.; PRAIRIE, Y.; BASTVIKEN, D.; HUSZAR, V.L.M & ROLAND, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature geoscience*.
- 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*.
- 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.
- BUENO, G.W. 2011. A capacidade de suporte. Produção de peixes cultivados em reservatórios. *Panorama da Aquicultura*.
- ELETRONORTE. 2006. Centrais Elétricas do Norte do Brasil. Brasília, DF. Fornecido pela Internet.
- FEARNSIDE, P. M. 1989. Brazil's Balbina Dam: environmental versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13: 401-423.
- FEARNSIDE, P.M. 2008. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecol. Bras.* 12(1) 100 – 115.
- GALY-LACAUX, C.; DELMAS, R.; KOUADIO, G.; RICHARD, S. & GROSSE, P. 1999. Long-term Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517.

HANSCH C.; Leo, A.J. 1979. Substitute constants for correlation analysis in chemistry and biology. Wiley, New York.

HOPE D, Dawson JJC, Cresser MS, Billett MF. 1995. A method for measuring free CO<sub>2</sub> in upland streamwater using headspace analysis. *J Hydrol* 166:1–14.

JOHNSON, K.M.; Hughes, J.E.; Donaghay, P.L. & Sieburth, J.M. 1990. Bottle-calibration static head space method for determination of methane dissolved in seawater. *Anal.Chem.* 62: 2408-2412.

KEMENES, A. 2006. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> E CH<sub>4</sub>) pela hidrelétrica de Balbina, Amazônia central, Brasil. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 97pp.

KEMENES A.; FORSBERG BR.; MELACK JM. 2007 Os fluxos de metano e gás carbônico por hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje*.

KEMENES A, Forsberg BR, Melack JM (2007) Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophys Res Lett* 34.

KEMENES A.; FORSBERG BR. 2008. Potencial ampliado. *Scientific American*. 18-23.

KEMENES A, FORSBERG BR, MELACK JM. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje*.

LELIEVELD, J.; CRUTZEN P.J. & DENTENER, F.J. 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus* 50B: 128–150.

MACINTYRE, S.; Romero, J.R.; KLING, G.W. 2002. Spatial-temporal variability in surface layer deepening and lateral advection in an embayment of Lake Victoria, East Africa. *Limnol. Oceanogr.*, 47(3), 656–671.

MALLASEN, M.; BARROS, H. P.& YAMASHITA E. Y, 2008. Produção de peixes em tanques-rede e a qualidade de água. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, São Paulo, SP.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA – MPA. 2010. *Produção pesqueira e aquícola: estatística 2008 e 2009*. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/#info-estatistica/estatistica-da-pesca-e-aquicultura>>. Acesso: 20 de Setembro de 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. 2011. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. MME, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF. 2 vols.

SCHLESINGER, W. H. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Second Edition. San Diego (California). 588 pp.

SANTOS, M.A. 2000. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivados de hidrelétricas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 147 pp.

THE GUARDIAN. 2012 “Greenhouse gas levels pass symbolic 400ppm CO<sub>2</sub> milestone”. *The Guardian*. 1 June 2012.