



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ANIMAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

DANYELA CARLA ELIAS SOARES

**EMIÇÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES
DA PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)**

MOSSORÓ-RN

2017

DANYELA CARLA ELIAS SOARES

**EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA
PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção
do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência
Animal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva -
UFERSA

MOSSORÓ-RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS676 Soares, Danyela Carla ELias .
e EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA
DECORRENTES DA PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO
(Litopenaeus vannamei) / Danyela Carla ELias
Soares. - 2017.
56 f. : il.

Orientador: Gustavo Henrique Gonzaga da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
, 2017.

1. aquecimento global. 2. emissões animais. 3.
gases do efeito estufa. 4. carcinicultura. 5.
impactos ambientais. I. da Silva, Gustavo
Henrique Gonzaga, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

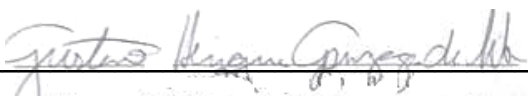
DANYELA CARLA ELIAS SOARES

**EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA
PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)**

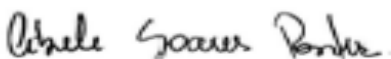
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção
do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência
Animal.

Data da defesa: 17/02/17

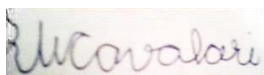
BANCA EXAMINADORA



**Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva – UFERSA
(Orientador: Presidente)**



**Profa. Dra. Cibele Soares Pontes - UFRN
(Segundo Membro)**



**Profa. Dra. Virgínia Maria Cavalari Henriques - UFRN
(Terceiro Membro)**

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DANYELA CARLA ELIAS SOARES – Nascida no município de Mossoró, RN. Coursou Engenharia de Pesca pela Universidade Federal de Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, onde foi bolsista pelo CNPq, concluindo o curso em 2013. Atuou como gerente de produção em uma fazenda de camarão marinho na região, na qual permaneceu por 4 anos. Em 2015, iniciou o mestrado no programa de pós-graduação em Ciência Animal como bolsista Capes, desenvolvendo seu trabalho de pesquisa junto ao Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água do Semi-Árido, o LIMNOAQUA.

Ofereço e Dedico

A Deus, pelo dom da vida,
Ao meu filho Gael, que foi minha força pra
continuar mesmo diante de todas as dificuldades,
Aos meus pais Antonio e Nilza,
Aos meus irmãos: Dayane, Dryeli e Denis,
Ao meu querido esposo Ricardo Rios.
Enfim, a minha família, vocês são minha fortaleza!
A vocês ofereço e dedico
essa dissertação e toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Graças a Deus por todas as coisas.

Agradeço também aos meus pais, Nilza e Antonio, assim também como aos meus irmãos, Dayane, Denis e Dryeli. A vocês obrigada pela força! Obrigada pelo amor incondicional! Dedico tudo a vocês.

Ao meu amor, amigo e companheiro, Ricardo Rios agradeço por estar ao meu lado, sempre. Obrigada pelos abraços apertados quando eu precisei. Você, além da minha família, foi essencial para que eu pudesse realizar esse sonho. Essa vitória é nossa. Te amo muito. O próximo é você.

Agradeço ao meu orientador, Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, pela orientação e compreensão em momentos críticos que passei durante esses anos de trabalho, e especialmente pelas várias oportunidades que me concedeu nesse período.

Aos membros da banca examinadora, professoras profa. Dra. Cibele Soares Pontes (UFRN) e profa. Dra. Virgínia Maria Cavalari Henriques (UFRN) por terem aceitado o convite para participar da defesa e contribuir com esse trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal pela oportunidade concedida.

À Capes, pela concessão da bolsa e pelo apoio financeiro que possibilitou a execução e o desenvolvimento deste estudo.

À fazenda Aquarium Aquicultura, em nome do Sr. Enox Maia, pela disponibilidade da estrutura para a realização desse trabalho.

Aos companheiros de laboratório (Limnoaqua) obrigada pela ajuda de todos vocês: Luiza, Eudilena, Mônica, Thaise e Junior Bessa. E em especial, ao Sávio e a Cinthia por serem sempre tão solícitos em repassar conhecimentos e informações sempre que precisei, ao Luís Carlos que me ajudou em todas as análises no laboratório e ao, meu querido amigo, Corró que compartilhou comigo esses momentos de desespero durante esses dois anos.

A realização deste trabalho não seria possível sem a colaboração de inúmeras pessoas, que direta ou indiretamente participaram, desta forma só tenho a agradecer.

A todos...

Muito Obrigada!!

“Que seja feliz jornada: Fé em Deus e pé na tábua!”

“É melhor tentar e falhar, que ocupar-se em ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, do que nada fazer. (...) Prefiro ser feliz, que viver em conformidade”.

Martin Luther King Jr.

EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)

SOARES, Danyela Carla Elias; **Emissão e absorção de gases do efeito estufa decorrentes da produção de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*)** 2017. (56) f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Ecologia e conservação no semiárido. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal. Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró-RN. Brasil, 2017.

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo identificar e quantificar o fluxo de gases do efeito estufa (CH_4 , CO_2 , N_2O) em viveiros de cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* submetidos a diferentes condições de cultivo. O experimento foi desenvolvido com um delineamento inteiramente casualizados, com dois tratamentos e quatro repetições simultaneamente, perfazendo um total de oito unidades experimentais. Foram testados dois sistemas de manejo: o primeiro (M1) utilizou densidade de estocagem de 92 camarões/m², fertilizações de manutenção com a aplicação de nitrato de cálcio e melaço, e arraçoamento através do método de alimentação exclusiva em bandejas para a oferta de ração. Já o segundo (M2) utilizou uma densidade de 14 camarões/m², porém utilizando fertilizações de manutenção constituídas apenas pela aplicação do nitrato de cálcio, o arraçoamento consistiu na ofertada de ração através do método de voleio. Os resultados mostraram que houve variações nos padrão de emissões para os dois tratamentos utilizados, bem como nas concentrações dos gases avaliados. Os valores médios de fluxo total de gases registrados foram -314,87 mg.m².dia⁻¹ de CH_4 , -3773,51 mg.m².dia⁻¹ de CO_2 , 2,47 mg.m².dia⁻¹ de N_2O para o M1. Enquanto para M2 os valores foram os seguintes: 653,89 mg.m².dia⁻¹ de CH_4 , 497,52 mg.m².dia⁻¹ de CO_2 , 25,59 mg.m².dia⁻¹ de N_2O . Assim, os resultados obtidos nesse estudo sugerem que as múltiplas condições ambientais e de manejo oferecidas no cultivo interferem na produção e na emissão dos gases, podendo atuar como fonte ou sumidouro desses gases. Neste contexto, pode-se concluir, pelo presente estudo, que a carcinicultura quando combinada com a utilização de um manejo operacional adequado, com melhor aproveitamento de ração e uso adequado das fertilizações, apresentou potencial para absorção de alguns gases, como CH_4 e CO_2 , e menor emissão de N_2O mesmo utilizando altas densidades de cultivo, opondo-se ao paradigma de que os maiores danos ambientais causados pela carcinicultura ocorrem pelo cultivo intensivo.

Palavras-chave: aquecimento global, emissões animais, gases do efeito estufa, carcinicultura, impactos ambientais.

EMISSION AND ABSORPTION OF GREENHOUSE GASES FROM THE PRODUCTION OF MARINE SHRIMP FARM (*Litopenaeus vannamei*)

SOARES, Danyela Carla Elias; **Emission and absorption of greenhouse gases from the production of marine shrimp farm (*Litopenaeus vannamei*)**. 2017. (56) f. Dissertation (MS in Animal Science: Ecology and Conservation in Semiarid). Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró-RN. Brasil, 2017.

ABSTRACT: The objective of this work was to identify and quantify the flow of greenhouse gases (CH₄, CO₂, N₂O) in *Litopenaeus vannamei* shrimp nurseries submitted to different culture conditions. The experiment was developed with a completely randomized design, with two treatments and four replicates simultaneously, making a total of eight experimental units. Two management systems were tested: the first one (M1) used stocking density of 92 shrimp/m², maintenance fertilization with the application of calcium nitrate and molasses, and feeding through the exclusive feed method in trays for the supply of feed. The second one (M2) used a density of 14 shrimps/m², but using maintenance fertilizations constituted only by the application of calcium nitrate, the feeding consisted of the feed offered through the volley method. The results showed that there were variations in the emission standard for the two treatments used, as well as in the concentrations of the evaluated gases. The mean values of total gas flow recorded were -314,87 mg.m².dia⁻¹ de CH₄, -3773,51 mg.m².dia⁻¹ de CO₂, 2,47 mg.m².dia⁻¹ de N₂O for M1. However, for M2, the following values were: 653,89 mg.m².dia⁻¹ de CH₄, 497,52 mg.m².dia⁻¹ de CO₂, 25,59 mg.m².dia⁻¹ de N₂O. Thus, the results obtained in this study suggest that the multiple environmental and management conditions offered in the crop interfere with the production and emission of the gases, and can act as a source or sink for these gases. In this context, it can be concluded that shrimp farming, when combined with the use of adequate operational management, with better feed utilization and adequate fertilization, has the potential to absorb some gases such as CH₄ and CO₂, And lower emission of N₂O even using high crop densities, opposing the paradigm that the greatest environmental damage caused by shrimp farming occurs through intensive cultivation.

Keywords: global warming, animals emissions, greenhouse gases, shrimp farming, environmental impacts

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Localização dos viveiros de cultivo, com ênfase para a área de estudo.....	31
Figura 2 - Valores médios e desvios padrão dos fluxos ebulitivos ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento.....	35
Figura 3 - Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de CH_4 ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento.....	36
Figura 4 - Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de CO_2 ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento.....	37
Figura 5 - Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de N_2O ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento.....	37
Figura 6 - Fluxo total ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) nos viveiros de engorda de camarões marinhos para os dois tratamentos para todos os gases analisados.....	38
Figura 7 - Variação do fluxo de gases e desvios padrão ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para as emissões difusivas entre os períodos de coleta para os dois tratamentos.....	39
Figura 8 - Distribuição quantitativa dos gases produzidos durante o período de estudo.....	40
Figura 9 - Comparação da contribuição percentual dos gases obtidos pelos dois métodos ebulitivo e difusivo para os dois tratamentos.....	40
Figura 10 - Comparação da contribuição percentual dos gases obtidos para os diferentes manejos realizados.....	41

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Caracterização das rações comerciais utilizadas no cultivo	32
Tabela 2 - Características limnológicas da coluna d'água dos viveiros de cultivo de camarão marinho nos diferentes tratamentos	33
Tabela 3 - Características zootécnicas do cultivo para os dois tratamentos.	34
Tabela 4 - Valores comparativos de emissão de gases ($\text{mg.m}^2.\text{dia}^{-1}$) em diferentes atividades.....	45
Tabela 5 - Emissões de gases de efeito estufa para diferentes sistemas de produção agropecuária em expostas em $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ / kg de carne avaliados e reunidos pelo seu potencial de aquecimento global ao longo de 100 anos.....	46
Tabela 6 - Estimativa emissão global de N_2O até 2030	47

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - AQUECIMENTO GLOBAL: FATORES QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E A CONTRIBUIÇÃO DA AQUICULTURA NA EMISSÃO DE GASES

1. INTRODUÇÃO	15
2. PRINCIPAIS GASES DO EFEITO ESTUFA.....	16
3. PRINCIPAIS FONTES DE GASES DO EFEITO ESTUFA	16
4. EMISSÃO DE GASES PROVENIENTES DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	17
5. FATORES QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DOS GASES NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	18
6. MÉTODOS DE COLETA PARA AVALIAÇÃO DOS GASES EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	19
7. CONTRIBUIÇÃO DA AQUICULTURA NA EMISSÃO DE GASES	20
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
9. REFERÊNCIAS.....	23

CAPÍTULO 2 - EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)

RESUMO	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1. ÁREA DE ESTUDO	30
2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	31
3. RESULTADOS	35
3.1. FLUXOS DE EMISSÃO EBULITIVA.....	35
3.2. FLUXOS DE EMISSÃO DIFUSIVA	35
3.3. FLUXO TOTAL DE GASES	38
4. DISCUSSÃO	41
5. CONCLUSÕES.....	47
6. REFERÊNCIAS.....	48

ANEXO – IMAGENS DA EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	54
--	-----------

APRESENTAÇÃO

O efeito estufa e a emissão de gases que contribuem negativamente para o meio ambiente e sua biodiversidade são temas muito relevantes atualmente. Por isso, os riscos e as incertezas decorrentes desse processo para o futuro do planeta são preocupantes. Diversas atividades contribuem para esse processo e estão influenciando diretamente as mudanças climáticas mundiais, entre elas a produção animal. Apesar disso, muitas questões ainda continuam sem uma resposta definitiva, sendo respondidas apenas por hipóteses e estimativas, o que dificulta o estabelecimento de medidas práticas para a resolução do problema.

O primeiro capítulo **“Aquecimento global: fatores que influenciam a emissão dos gases do efeito estufa nos ecossistemas aquáticos e a contribuição da aquicultura na emissão destes gases”** trata de uma introdução geral ao tema. Em um primeiro momento são abordados aspectos gerais relacionados ao aquecimento global. Em um segundo momento trata-se dos fatores que influenciam a emissão dos gases do efeito estufa nos ecossistemas aquáticos, bem como é discutida a contribuição da aquicultura na emissão destes gases, assim como questões de sustentabilidade e ferramentas que visem sua avaliação e quantificação.

O segundo capítulo intitulado **“Emissão e absorção de gases do efeito estufa decorrentes da produção de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*)”** é referente à quantificação dos gases do efeito estufa realizada em uma fazenda comercial de produção do camarão marinho em dois sistemas de cultivo submetidas a diferentes estratégias de manejo. Toda a avaliação foi feita durante o ano de 2016. E teve como objetivo avaliar a influência da carcinicultura na emissão e absorção de gases do efeito estufa. Para isso, foram realizadas coletas durante um ciclo de cultivo para os dois tratamentos, a fim de se acompanhar a influência durante toda a fase de engorda do camarão no fluxo desses gases. Os dados obtidos das análises das duas áreas foram comparados para diagnosticar o impacto das diferentes manejos sobre as emissões dos gases do efeito estufa.

CAPÍTULO 1 - AQUECIMENTO GLOBAL: FATORES QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E A CONTRIBUIÇÃO DA AQUICULTURA NA EMISSÃO DE GASES

1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa e a emissão de gases que contribuem negativamente para o meio ambiente e sua biodiversidade são temas muito relevantes atualmente. Por isso, os riscos e as incertezas decorrentes desse processo para o futuro do planeta são preocupantes. Diversas atividades contribuem para esse processo e estão influenciando diretamente as mudanças climáticas mundiais, entre elas a produção animal. Apesar disso, muitas questões ainda continuam sem uma resposta definitiva, sendo respondidas apenas por hipóteses e estimativas, o que dificulta o estabelecimento de medidas práticas para a resolução do problema. Com isso acentuou-se de forma marcante o debate científico sobre o aumento da temperatura da superfície terrestre em decorrência da presença dos gases causadores do efeito estufa, pois a intensificação na liberação destes gases é considerado um processo chave para o entendimento do aumento da temperatura da atmosfera. FROUZ et al. (2009) destacam que os gases de maior relevância produzidos por estes processos, em termos de quantidade e potencial de efeito estufa, são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) que comprovadamente interagem com a radiação infravermelha na atmosfera causando a intensificação do efeito estufa natural e influenciando para as alterações climáticas globais. De acordo com alguns autores (MARCELINO et al., 2015; SAMUEL-FITWI et al., 2012; YANG et al., 2014), a temperatura média do planeta já aumentou em torno de 0,3-0,6° C, desde o início deste século devido a esse fenômeno, e indicam no do próximo século a temperatura global deverá aumentar novamente, podendo aumentar de 1 a 3° C a temperatura atual.

O efeito estufa é o principal item no que diz respeito ao assunto, visto que representa o principal responsável pelo aquecimento global e, consequentemente, pelas mudanças climáticas advindas. Constitui-se basicamente de um processo natural da superfície terrestre, responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a existência dos seres vivos na biosfera, com média de temperatura entre 14 a 16 °C, impedindo que a temperatura chegue a níveis intoleráveis. Sem ele a temperatura global média seria de -18°C, em vez dos atuais 15°C (BERGER e TRICOT, 1992). Esse fenômeno ocorre quando uma parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Como consequência disso, a radiação infravermelha refletida pela

Terra fica retida na atmosfera resultando no aquecimento do planeta (ESCOBAR, 2008). No entanto, a preocupação provocada pelo efeito estufa não está voltada para o aquecimento causado por fontes naturais de gases, mas pelo aumento das concentrações produzidas por ações antrópicas, que causam o aquecimento adicional a temperatura natural terrestre e, conseqüentemente, aumentam as dimensões das mudanças climáticas (KUMAR, 2013; KUMAR et al., 2013). Por isso, os riscos e as incertezas ambientais decorrentes desse processo para o futuro são preocupantes. Apesar de ainda caracterizado por muita polêmica, o aquecimento do planeta pela intervenção humana, ainda que incerto quanto a sua amplitude, é reconhecido como um dos principais desafios desse século, estabelecendo um tema que demanda grande interesse mundial, especialmente da comunidade científica, para conter seus efeitos sobre a atmosfera terrestre, ao longo dos anos, e preservar o planeta para o bem desta e das futuras gerações.

2. PRINCIPAIS GASES DO EFEITO ESTUFA

O dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) são os três principais gases do efeito estufa na atmosfera, e o aumento contínuo de suas concentrações atmosféricas estão intimamente relacionados com as alterações climáticas globais (MARCELINO et al., 2015; YANG et al., 2014). Entre eles o mais emitido para a atmosfera é o CO_2 , que é responsável por cerca de 60% das emissões de gases do efeito de estufa para atmosfera. Por sua vez, a quantidade de CH_4 e N_2O emitida para a atmosfera é, respectivamente, 18% e 6%, bem menor quando comparada à quantidade de CO_2 , mas o potencial de aquecimento, respectivamente, é de 23 e 298 vezes maior que o CO_2 (SCHOTT, 2016; CERRI et al., 2007). De acordo com os relatórios do IPCC (2016) a concentração de dióxido de carbono sofreu um grande acréscimo de 1750 até 2015, onde que foi verificado um aumento do nível de CO_2 atmosférico, passando de uma concentração de 280 ppm para 400 ppm, ultrapassando as taxas naturais dos últimos 650 anos (180 a 300 ppm).

3. PRINCIPAIS FONTES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

A expansão demográfica e industrialização são grandes responsáveis pelas alterações no uso da terra, principalmente para a produção de alimentos e energia que vem ocorrendo desde o início do era industrial (MILARÉ, 2007). As mudanças no padrão de uso da terra têm sido as principais causas de modificações nas fontes e sumidouros de gases do efeito estufa (SCHOTT et al., 2016; YANG et al., 2012; COLE et al. 2007; SANTOS et al., 2005). Várias

atividades humanas contribuem para emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. No entanto, a maior contribuição conhecida vem da queima de combustíveis fósseis, que libera o dióxido de carbono (CO_2). Entre as fontes de outros gases do efeito estufa podemos citar os fertilizantes utilizados na agricultura e na pecuária que liberam óxido nitroso (N_2O), a produção de gás e petróleo, cultura de arroz e os processos digestivos de ruminantes que emitem metano (CH_4), e os condicionadores de ar e refrigeradores que emitem os clorofluorcarbonos (CFCs) (CONRAD, 1999; PUROHIT e AGRAWAL, 2004; KUMAR, 2013; KUMAR et al., 2013). No entanto, apesar de seus aspectos negativos, especialmente à saúde, algumas fontes emissoras como a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e queimadas, possuem seu potencial atenuado se comparado aos animais e suas emissões. Segundo GOODLAND, 2009, os animais e seus subprodutos são responsáveis por cerca de 50% das emissões de gases de estufa liberados para atmosfera. Em relatório publicado pela FAO, STEINFELD et al. (2006) mostram a problemática que envolve a produção animal e o desenvolvimento sustentável do meio ambiente. O setor pecuário foi a segunda maior emissora de gases, sendo responsável por 18% do total das emissões de gases estufa (OLIVEIRA e BARBOSA, 2007).

4. EMISSÃO DE GASES PROVENIENTES DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

A emissão dos gases pelos ecossistemas aquáticos é atingida pelo transporte físico destes gases a partir do sedimento e da coluna de água (MARTIKAINEN; 2002). Os gases do efeito estufa são gerados no sedimento do ecossistema aquático e, inicialmente, ficam dissolvidos na água. O metano e óxido nitroso, que são menos solúveis que o dióxido de carbono, se agregam em forma de bolhas. E estas bolhas crescem até um ponto que não conseguem mais ficar presas dentro do sedimento e, então, se soltam e migram para a superfície da água. O dióxido de carbono tende a ficar retido na água porque é mais solúvel, mas uma fração pequena entra nas bolhas. Nem todo metano gerado no sedimento é liberado em forma de bolhas. Em águas rasas, parte do metano se difunde até a superfície. Geralmente, em profundidades maiores, todo metano presente pode ser emitido através do processo de difusão porque a pressão da coluna de água não possibilita a formação de bolhas. Nas camadas mais superficiais, a concentração de oxigênio aumenta. As bactérias presentes nestas camadas da água podem produzir dióxido de carbono a partir do metano e oxigênio. Então, a camada oxigenada do ambiente funciona como sumidouro de metano. Da mesma maneira que a fotossíntese é um sumidouro para o dióxido de carbono (SANTOS et al., 2005). A zona

oxigenada irá diminuir e se a profundidade do corpo de água pequena, então o processo de oxidação será insuficiente para remover todo o metano. Por outro lado, a ebulição, transporte de massa através das bolhas, faz o metano indisponível para as bactérias metanotróficas enquanto ele se move do sedimento até a superfície da água, o que faz com o metano entrar direto na atmosfera (SVENSSON, 2005).

5. FATORES QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DOS GASES NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Os principais fatores que parecem influenciar de forma importante na emissão de gases do efeito estufa em ecossistemas aquáticos são a quantidade de matéria orgânica presente na água ou no solo, profundidade da região e as condições climáticas. Estes fatores também tem grande influência na produção primária dos ecossistemas aquáticos considerando um nível constante de nutrientes (SVENSSON, 2005). Pois isso existe uma correlação positiva do fluxo de gases do efeito estufa nessas áreas com o estado trófico do ecossistema (MARTIKAINEN; 2002).

LIMA et al. (2005) estudaram o efeito dos parâmetros climáticos, como as frentes frias nos parâmetros limnológicos e no fluxo dos gases do efeito estufa. De acordo com autores, a frente fria aumentou a velocidade dos ventos e diminuiu a temperatura da água e o fluxo dos gases do efeito estufa. E enquanto a emissão média do dióxido de carbono aumentava, o tamanho e a frequência das bolhas de metano diminuía depois da frente fria. Além disso, a turbidez e a clorofila aumentaram e mantiveram-se elevadas. Ainda segundo os autores, tanto a chuva quanto o vento forneceram oxigênio para o ambiente possibilitando a conversão do metano para dióxido de carbono pelas bactérias metanotróficas. Acreditava-se que a concentração de dióxido de carbono e o fluxo para a atmosfera diminuíssem devido ao consumo do dióxido de carbono pela comunidade de fitoplâncton. Entretanto, com o aumento da chuva, a concentração de dióxido de carbono, através da oxidação do metano, também aumentava e a intensificação da nebulosidade limita a quantidade de luz e consequentemente a produtividade do fitoplâncton.

Existem vários fatores que influenciam a quantidade de emissões de dióxido de carbono e metano. Um dos mais importantes parece ser o clima (LIMA et al., 2005; SANTOS et al., 2005). Áreas localizadas em regiões tropicais apresentam taxas de emissão maiores que aqueles situados em regiões boreais e temperadas. Uma razão possível para este fato é que a temperatura da água em regiões tropicais é muito mais alta, consequentemente, a taxa de

decomposição da matéria orgânica é maior, elevando o fluxo de emissão do metano e do dióxido de carbono (LOUIS et al., 2000).

A idade do ambiente também é considerada um fator determinante nas emissões dos gases. Inicialmente, acreditava-se que o total das emissões diminuiria com o tempo os ecossistemas aquáticos (LIMA, 2002), mas outros estudos comprovam que esses ambientes emitem mais gases em seus primeiros anos de existência (KEMENES et al. 2007, ROLAND, et al 2009. Outros fatores também devem ser levados em consideração, antes de chegar a alguma conclusão no que diz respeito à relação entre a emissão e a área inundada, são o tipo de ecossistema onde foi desenvolvido e a quantidade de biomassa existente no meio. Além destes fatos, há vários fatores que podem afetar a quantidade de gases do efeito estufa emitido em diferentes áreas do mesmo ambiente. Como, por exemplo, a quantidade de plantas aquáticas e microrganismos presentes, que por sua vez dependem da quantidade de luz a que o ambiente está exposto, assim como também, o clima e a estação do ano. A profundidade também afeta a capacidade de emissão dos gases do efeito estufa. (LOUIS et al., 2000).

6. MÉTODOS DE COLETA PARA AVALIAÇÃO DOS GASES EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

A liberação dos gases nos ecossistemas aquáticos se dá pela superfície da água e acontece de duas maneiras, através da emissão difusiva e por meio da emissão ebulitiva. Apesar do avanço da tecnologia para a medição das emissões de gases do efeito estufa não há metodologias específicas disponíveis para a estimativa direta de gases a partir de áreas de aquicultura. PRETO (2012) recomenda o uso do funil invertido para a avaliação do fluxo por ebulição e de câmaras difusivas para a avaliação do fluxo difusivo como padrões de metodologias e indica estas metodologias para novos estudos, mesmo em paralelo com outras técnicas de medição.

Na emissão difusiva, os gases dissolvidos na água expandem-se da água para o ar, em um processo semelhante à evaporação da água. De acordo com ANDERSON (2005) a avaliação dos gases difusivos em campo é feita através de câmaras de difusão, mas não existe uma norma técnica que especifique como estas câmaras devem ser fabricadas e nem uma norma técnica sobre a metodologia de amostragem. É importante usar na fabricação da câmara um material que não fixe o gás de interesse e que também não seja afetado pela difusão do ambiente. O ar dentro das câmaras deve ser bem misturado para evitar áreas vazias, particularmente em câmaras retangulares. A metodologia operacional consiste em

colocar a parte aberta da câmara sobre a superfície da água, permitindo que emissões da superfície da água se acumulem dentro da câmara. A maior parte das câmaras é instalada sobre boias que permite que a câmara flutue sobre a superfície da água. As câmaras têm a vantagem de permitir à análise dos fluxos em escala local a câmara pode influenciar a superfície em estudo. Os efeitos sobre o fluxo são complexos e dependem do ambiente onde elas são colocadas. A análise de qualitativas e quantitativas dos gases é realizada em laboratório com instrumentos mais sofisticados como o cromatógrafo (ANDERSON, 2005; SANTOS et al., 2005).

A emissão ebulitiva trata-se da concentração dos gases contidos nas bolhas que se formam no fundo do ambiente. As bolhas se formam naturalmente no fundo e sobem periodicamente (PRETO, 2012; SANTOS et al., 2005). O fluxo ebulitivo pode ser medido através de funis invertidos que capturam espontaneamente as bolhas ascendentes. De acordo com PRETO (2012) e SANTOS et al. (2005) a metodologia de amostragem consiste em funis invertidos pendurados com o auxílio de boias, cerca de 30 centímetros abaixo da superfície da água. Na ponta do funil é acoplado um frasco para coletar o gás. O volume acumulado de gás medido uma vez por dia é retirada para análise em cromatógrafo a gás. Através da análise dos dados e das taxas de volume coletados de bolha, a taxa de gases são calculadas e expressa em $\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. O fluxo médio de emissão é obtido como média dos valores de todos os lugares amostrados. O fluxo médio é calculado como média ponderada.

7. CONTRIBUIÇÃO DA AQUICULTURA NA EMISSÃO DE GASES

Embora sua importância ainda seja muitas vezes subestimada, a aquicultura está entre as atividades que mais crescem no segmento da economia alimentar. De acordo com a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO), para atender à crescente demanda, a produção mundial de pescado aumentaria de 72,1 milhões de toneladas em 2006 para cerca de 150 milhões de toneladas em 2030 (FAO, 2012). Nesse contexto, as implicações sobre as mudanças climáticas estabelecidas pela atividade são difíceis de ignorar, e este conhecimento passa a ser muito relevante. Para atender à crescente demanda populacional tem sido seguido o sistema de aquicultura intensiva, adotando altas densidades de cultivo. Com essa densidade de estocagem, aliada a grande quantidade de entradas diferentes nutrientes adicionados aos viveiros, à aquicultura passa também a contribuir de forma efetiva para as emissões de gases do efeito de estufa para a atmosfera, embora menores volumes de gases do efeito estufa são observados quando comparados com outras atividades. Atualmente cerca 16,6 milhões de

toneladas de carbono estão submersos em tanques de aquicultura a nível mundial. Isto é cerca de metade da quantidade observada em lagos naturais e águas interiores (BOYD 2010). Apesar disso, essa questão ainda tem sido bastante negligenciada, estabelecendo a relação de sustentabilidade dos sistemas baseados apenas nas avaliações da qualidade de água dos viveiros e dos efluentes gerados (DATTA et al., 2009; HU et al., 2013; MUNGGKUNG et al., 2013; YANG et al., 2012; VALENTI et al., 2011). Por isso, conhecer a dinâmica de emissão de gases gerados é essencial para a avaliação da sustentabilidade da aquicultura. Visto que ainda são poucos os trabalhos que abordaram este tema na aquicultura (SCHOTT et al., 2016; YANG et al., 2012; ORJUELA et al., 2011; BOYD et al., 2010; ENRICH-PRAST E PINHO, 2008; COLE et al. 2007; SANTOS et al., 2008).

A maioria dos estudos envolvendo gases estufa na aquicultura focalizam apenas as emissões do óxido nitroso a partir de sistemas de aquicultura (DATTA, 2009; HU et al., 2012; PARK et al., 2000; WILLIAMS e CRUTZEN 2010; SCHNEIDER et al., 2005), amenizando a influência dos impactos causados por outros gases. Em sistemas de aquicultura, o óxido nitroso (N_2O) pode ser produzido durante os processos de nitrificação e desnitrificação microbianas. Os mecanismos exatos de produção N_2O na aquicultura estão relacionados com os parâmetros operacionais específicos, como fertilizações, assim também como as condições ambientais, pois nos sistemas de aquicultura, esses parâmetros operacionais que afetam diretamente a nitrificação e desnitrificação (HU et al., 2013). Durante a desnitrificação, o N_2O é um intermediário obrigatório, e é produzido como um resultado da inibição de oxigênio ou de nitrito de limitação de carbono ou biodegradável (KAMPSCHREUR et al., 2009). WILLIAMS e CRUTZEN (2010) estimaram que as emissões globais de N_2O na aquicultura em 2009 foram $9,0 \times 10^{10}$ g, o que representa 0,5% das emissões globais de N_2O . Contudo, estudos realizados por HU et al. (2012) mostram que se continuarem a aumentar no ritmo atual de crescimento anual de 7,1%, a indústria aquícola pode ser responsável por 5,7% das emissões antrópicas de óxido nitroso (N_2O) até 2030. Estes fatos sugerem claramente que a emissão de gases do efeito estufa a partir dos viveiros de aquicultura é um problema com importantes contribuintes regionais que influenciam mudanças climáticas globais (COLE et al., 2007).

BOYD et al. (2010) realizaram um estudo sobre o potencial de fixação do carbono por meio da aquicultura, onde avaliam que o acúmulo de carbono no sedimento dos viveiros pode ser um importante mecanismo de sequestro de carbono, podendo gerar créditos de carbono pela aquicultura. No entanto, estudos com a quantificação de dióxido de carbono e

metano em viveiros são praticamente inexistentes, observando-se apenas pesquisa desenvolvida por PRETO (2012) com dados ainda não publicados. Além disso, foram encontrados somente dois trabalhos que quantificam a emissão de metano em aquicultura e viveiros (FREI e BECKER, 2005; FREI et al., 2007), porém esses estudos foram desenvolvidos com o cultivo consorciado de peixe e arroz, e a emissão obtida equivale a observação conjunta dos dois tipos de organismos.

Apesar de representar uma atividade produtora de significativos impactos sobre as mudanças climáticas, a aquicultura também constitui atividade altamente dependente dos fatores climáticos, podendo ser afetada diretamente pela inconstância e severidade das mudanças climáticas (LIMA, 2002). Os impactos do aquecimento global poderão ter amplos reflexos no meio ambiente, mas também na produtividade dessa atividade. Além dos efeitos diretos da elevação da temperatura sobre os organismos, o aquecimento global poderá também afetar a produção pela redução da produtividade, assim como pelo favorecimento a maior incidência de pragas doenças devido às mudanças bruscas de ambiente (FERNANDES e FERNANDES, 2008).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que o aquecimento global é um tema complexo que compreende relevantes diversas áreas do conhecimento. Por este motivo e devido a extensão do problema, constitui um tema de discussão não somente entre a comunidade científica, mas entre políticos e população em geral. Muitas questões ainda continuam sem uma resposta definitiva, sendo respondidas apenas por hipóteses e estimativas, o que dificulta o estabelecimento de medidas práticas para a resolução do problema. Outro aspecto importante, é que o aquecimento global que engloba, direta e indiretamente, diversos aspectos econômicos extremamente relevantes, como a queima dos combustíveis fósseis, a utilização dos recursos naturais e produção de alimentos, além de questões sociais acerca destes fatores.

Medidas práticas para a diminuição desse problema podem ser atingidas a partir de ações relacionadas com a prática do desenvolvimento sustentável. Apesar de sua forte interação, a vulnerabilidade da agropecuária, em especial das atividades aquícolas, aos efeitos da mudança global do clima tem sido um assunto ainda pouco estudado no país, embora seja de grande interesse devido à contribuição econômica do setor. Por isso, torna-se necessário uma concentração de esforços para entender o sistema aquícola sob uma ótica macroscópica, bem como também compreender a interação entre suas dimensões, permitindo um

entendimento global da atividade, como também a formação de conhecimento crítico para a sustentabilidade do sistema em estudo. Assim, a análise dos gases do efeito estufa na aquicultura parece ser uma alternativa a seguir para um entendimento mais profundo entre a relação da atividade com o meio ambiente.

No entanto, a mudança desse cenário e a adoção de estratégias eficazes que promovam a redução das emissões de gases do efeito estufa só serão possíveis com estudos que considerem aspectos individuais de produção da atividade, quantificando a emissão dos gases levando em consideração as estratégias de cultivos, os sistemas de manejo e as características locais de solo e clima. A questão das mudanças climáticas precisa, portanto, passar por uma avaliação mais detalhada com o intuito de se determinar o papel da natureza e da ação humana nesse processo, mesmo porque as duas esferas podem atuar de forma solidária e intercambiando influências.

9. REFERÊNCIAS

- ALVALÁ, P. C., V. W. J. H. KIRCHHOFF, F. ZAMORANO B., C. CASICCIA S., Atmospheric methane observations in Brazil: SCAR-B Mission. Proceedings of the Smoke/ Clouds and Radiation-Brazil (SCAR-B) **Science Symposium**, Fortaleza, CE, Brazil, p.1-4, 1996.
- ANDERSON, D. E. **Comments: Greenhouse Gas Flux Measurements Using Eddy Covariance and Chamber Techniques over Lakes and Reservoirs**. In: Seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoir and workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level, Rio de Janeiro, 2005.
- BERGER, A.; TRICOT, C.H. The greenhouse effect. **Surveys in Geophysics**. v. 13, p 523-549. 1992.
- BOYD, C. E.; WOOD, C. W.; CHANEY, P. L.; QUEIROZ, J. F. Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. **Environmental Pollution**. v. 158, p. 2537 – 2540, 2010.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientific Agriculture**, n. 64, p. 83-99, 2007.
- COLE, J.J.; PRAIRIE, Y.T.; CARACO, N.F.; MCDOWELL, W.H.; TRANVIK, L.J.; STRIEGL, R.G.; DUARTE, C.M.; KORTELAJINEN, P.; DOWNING, J.A.; MIDDELBURG, J.J.; MELACK, J. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. **Ecosystems**, v. 10, p. 171-184, 2007.
- CONRAD, R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. **Fems microbiology ecology**. v. 28, p. 193–202. 1999.

DATTA, A.; NAYAK, D.R.; SINHABADU, T.K.; ADHYA, T.K. Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice-fish farming system of Eastern India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 129, p. 228-237, 2009.

DESHMUKH, C. **Greenhouse gas emissions (CH₄, CO₂ and N₂O) from a newly flooded hydroelectric reservoir in subtropical South Asia: The case of Nam Theun 2 Reservoir, Lao PDR**. Ocean, Atmosphere. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2013.

ENRICH-PRAST, A.; PINHO, L. Ciclo do carbono em ecossistemas aquáticos continentais brasileiros. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 03-05, 2008.

ESCOBAR, L.F. **Emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul. 2008. 104f.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Santa Maria, 2008.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2012**. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy. pp. 3-4, 2012.

FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **A Embrapa e as mudanças climáticas**. Agrosoft Brasil. Publicação: 27/02/2008. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/100054.html>>. Acesso em: setembro 2015.

FREI, M.; BECKER, K. Integrated Rice-Fish Production And Methane Emission Under Greenhouse Conditions. **Agriculture, Ecosystems And Environment**, v. 107, p. 51-56, 2005.

FREI, M.; RAZZAK, M.A.; HOSSAIN, M.M.; OEHME, M.; DEWAN, S.; BECKER, K. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 120, p. 391-398, 2007.

FROUZ, J.; PIZL, V.; CIENCIALA, E.; KALCIK, J. Carbon storage in post-mining forest, the role of tree biomass and soil bioturbation. **Biogeochemistry**, v. 94, p. 111-121, 2009.

GOODLAND, R.; ANHANG, J. (2009) **Livestock and Climate Change**. World Watch Institute. <http://www.worldwatch.org/node/6294>., December). Acesso em: 6 jul. 2015.

HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; KHANAL, S. K. Nitrous Oxide (N₂O) Emission from Aquaculture: A Review. **Environmental Science & Technology**. 46, 6470 – 6480. 2012.

HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; SHARMA, K.; BROTT, A. C.; KHANAL, KUMAR, S. Nitrogen transformations in intensive aquaculture system and its implication to climate change through nitrous oxide emission. **Bioresource Technology**. v. 130, p. 314-320, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Working Group. I. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. <<http://ipcc-wgI.ucar.edu/wgI/wgI-report.html>> 2016.

KAMPSCHREUR, M.J.; TEMMINK, H.; KLEEREBEZEM, R.; JETTEN, M.S.M.; VAN LOOSDRECHT, M.C.M. Nitrous oxide emission during wastewater treatment. **Water resources**. v. 43, p. 4093–4103, 2009.

KUMAR, B. Climate change and its impact on crop production. **Agribios news letters**, v. 10, p. 23-25, 2013.

KUMAR, B.; DEVI, T. M.; SAVITA; VERMA, S. K. Climate change: An impact on crop production. **Agribios news letters**, v.12, p. 24-26, 2013.

LIMA, I. B. T.; STECH, J.L.; MAZZI, A. M.; RAMOS, F. M.; NOVO, E. M. L. M.; LORENZZETTI, J.A.; ROSA, R. R.; BARBOSA, C. C.; OMETTO, J. P.; ASSIREU, A. T. **Linking telemetric climatic-limnologic data and online CH₄ and CO₂ flux dynamics**. In: Seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoir and workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level, 2005.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. v.19, p.451-472, 2002.

LOUIS, V. L. ST.; KELLY, C. A.; DUCHEMIN, E.; RUDD, J. W. M.; ROSENBERG, D. M. Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate. *Bioscience*, v.50, p.766-775, 2000.

MARCELINO, A. A.; SANTOS, M.A.; XAVIER, V.L.; BEZERRA, C.S.; SILVA, C.R.O.; AMORIM, M.A.; RODRIGUES, R.P.; ROGERIO, J.P. Diffusive emission of methane and carbon dioxide from two hydropower reservoirs in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v.75, 2015.

MARTIKAINEN, P. J. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. **Chemosphere**, v. 52, p. 609-621, 2002.

MILARÉ, É. Direito do ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário. 5. ed. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2007.

MUNGKUNG, R.; AUBINA, J.; PRIHADID, T. H.; SLEMBROUCKE, J.; VAN DER WERFA, H. M.G.; LEGENDREE, M. Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. **Journal of Cleaner Production**. v. 57, p.249–256, 2013.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC - NOAA. The **NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)**. **Broadway**, **2014**. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. Acesso em: maio de 2015.

OLIVEIRA, L. R.; BARBOSA, F. A. M. **Bovinocultura de corte: desafios e tecnologias**. Salvador: EDUFBA, 2007.

ORJUELA, G. L. Dinámica del Carbono en estanques de peces - Carbon dynamics in aquaculture ponds. **Orinoquia**, v. 15, p. 48-61, 2011.

PARK, K.Y.; INAMORI, Y.; MIZUOCHI, M.; AHN, K.H. Emission and control of nitrous oxide from a biological wastewater treatment system with intermittent aeration. **Journal of bioscience and bioengineering**. v. 90, p. 247–252. 2000.

PRETO, B. L. Uso de aeradores e substratos no cultivo semi-intensivo do camarão-da amazônia *Macrobrachium amazonicum*: análise técnica, econômica e emissão de gases do efeito estufa. 2012. 87 f. **Tese** (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista/UNESP, Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, 2012.

PUROHIT, S.S., AGRAWAL, A.K. Environmental pollution: cause, effects and control. **Agribio (India)**. P. 120-121. 2004.

SAMUEL-FITWI, B.; WUERTZ, S.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. Sustainability assessment tools to support aquaculture development. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 183-192, 2012.

SANTOS, M. A.; ROSA, L. P. MATVIENKO, B., SANTOS, E. O.; ROCHA, C. H. E. A., SIKAR, E.; SILVA, M. B.; B. JUNIOR, A. M. P. Emissões de gases do efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 116-129, 2008.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C., ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG, **SBCS/EMBRAPA/CNPS**, v.5, p. 100, 2005.

SCHNEIDER, O.; SERETI, V; EDING, E.H.; VERRETH, J.A.J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. **Aquaculture Engeneriee**, v. 32, p. 3–4, p. 379–401, 2005.

SCHOTT, A. B. S; WENZEL, H.; JANSEN, J. C. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. **Journal of Cleaner Production**. v. 119, p. 13–24, 2016.

SILVA, M.G., ALVALÁ, P.C., MARANI, L. Analysis of the influence of environmental parameters on methane flux from floodplains and lakes in the Abobral River, Pantanal, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v.11 p.227-338, 2016.

STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United States-. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/magazinr/0612sp1.htm>. FAO, 2006. Acesso em: 17 jun 2015.

STOCKER, T.F., QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; DOSCHUNG, J.; NAUELS, Y.; XIA, V.; BEX, A.; MIDGLEY, P.M.. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* In Technical summary. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. p. 33-115, 2013.

SUBRAMANIAN, R; WILLIAMS, L. L.; VAUGHN, T. L.; ZIMMERLE, D.; ROSCIOLI, R.J.; HERNDON, S.C.; YACOVITCH, T.I.; FLOERCHINGER, C.; TKACIK, D.S.; MITCHELL, A.L.; SULLIVAN, M. R.; DALLMANN, T.R.; ROBINSON, A.L. Methane Emissions from Natural Gas Compressor Stations in the Transmission and Storage

Sector: Measurements and Comparisons with the EPA Greenhouse Gas Reporting Program Protocol. **Environmental Science & Technology**, v. 49, p. 3252–3261, 2015.

SVENSSON, B. **Greenhouse gas emission from hydroelectric reservoirs: a global perspective.** In: Seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoir and workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level, 2005.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; PRETO, B.L. Measuring aquaculture sustainability. **World Aquaculture**. v. 72, p. 26-29, 2011.

WILLIAMS, J.; CRUTZEN. P.J. Nitrous oxide from aquaculture. **National geoscience**, v. 3, p.143, 2010.

YANG, L.; LU, F.; ZHOU, X.; WANG, X.; DUAN, X.; SUN, B. Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs. **Acta Ecologica Sinica**. v. 34, p. 204–212, 2014.

YANG, P.; TONG, C.; HE, Q.H.; HUANG, J.F. Diurnal variations of greenhouse gas fluxes at the water-air interface of aquaculture ponds in the Min River estuary. **Huan Jing Ke Xue**. v. 33, p. 4194-204, 2012.

CAPÍTULO 2 – EMISSÃO E ABSORÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA PRODUÇÃO DE CAMARÃO MARINHO (*Litopenaeus vannamei*)

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo identificar e quantificar o fluxo de gases do efeito estufa (CH_4 , CO_2 , N_2O) em viveiros de cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* submetidos a diferentes condições de cultivo. O experimento foi desenvolvido com delineamento inteiramente casualizados, com dois tratamentos e quatro repetições simultaneamente, perfazendo um total de oito unidades experimentais. Foram testados dois sistemas de manejo: o primeiro (M1) utilizou densidade de estocagem de 92 camarões/m², fertilizações de manutenção com a aplicação conjunta de nitrato de cálcio e melaço, e arraçoamento através do método de alimentação exclusiva em bandejas para a oferta de ração. Já o segundo (M2) utilizou uma densidade de 14 camarões/m², porém utilizando fertilizações de manutenção constituídas apenas pela aplicação do nitrato de cálcio, o arraçoamento consistiu na ofertada de ração através do método de voleio. Os resultados mostraram que houve variações nos padrões de emissões para os dois tratamentos utilizados, bem como nas concentrações dos gases avaliados. Os valores médios de fluxo total de gases registrados foram -314,87 mg.m².dia⁻¹ de CH_4 , -3773,51 mg.m².dia⁻¹ de CO_2 , 2,47 mg.m².dia⁻¹ de N_2O para o M1. Enquanto para o M2 os valores foram os seguintes: 653,89 mg.m².dia⁻¹ de CH_4 , 497,52 mg.m².dia⁻¹ de CO_2 , 25,59 mg.m².dia⁻¹ de N_2O . Assim, os resultados obtidos nesse estudo sugerem que as múltiplas condições ambientais e de manejo oferecidas no cultivo interferem na produção e na emissão dos gases, podendo atuar como fonte ou sumidouro desses gases. Neste contexto, pode-se concluir, pelo presente estudo, que a carcinicultura quando combinada com a utilização de um manejo operacional adequado, com melhor aproveitamento de ração e uso adequado das fertilizações, apresentou potencial para absorção de alguns gases, como CH_4 e CO_2 , e menor emissão de N_2O mesmo utilizando altas densidades de cultivo, opondo-se ao paradigma de que os maiores danos ambientais causados pela carcinicultura ocorrem pelo cultivo intensivo.

Palavras-chave: aquecimento global, emissões animais, gases do efeito estufa, carcinicultura, impactos ambientais.

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos podem ser fontes significativas de emissão de gases que contribuem para o efeito estufa (SILVA et al, 2016; ENRICH-PRAST e PINHO, 2008; COLE et al. 2007; DEAN e GORHAM, 1998), sendo que a maior parte dos dados que dão subsídio a essa informação baseia-se principalmente em estudos realizados em rios e em reservatórios de hidrelétricas (ALMEIDA et al, 2016; FARIA et al, 2015; MARCELINO et al, 2015; CAILLEAUD et al, 2014; DESHMUKH, 2013; BASTVIKEN et al, 2011; SBRISSIA et al, 2011). No entanto, são poucos os trabalhos que quantificam a emissão destes gases gerada pelas atividades produtivas que neles se desenvolvem, tais como a aquicultura (SCHOTT et al, 2016; YANG et al, 2012; ORJUELA et al, 2011; BOYD et al, 2010; DATTA et al, 2009; FREI e BECKER, 2005).

Considerando as ações antrópicas, as atividades agropecuárias são uma das principais fontes de emissão de gases do efeito estufa para atmosfera na atualidade (IPCC, 2016; OSÓRIO e AZEVEDO, 2014; KUMAR, 2013; KUMAR et al, 2013). Isto se dá especialmente pela mudança no uso da terra e pelo aumento do confinamento dos cultivos nessas atividades em busca de melhores resultados de produção (IPCC, 2016; MCTI, 2013). As atividades agropecuárias contribuem com aproximadamente 25%, 65% e 90% do total das emissões antropogênicas de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente (IPCC, 2016). Neste contexto, a produção de alimentos contribui sozinha com cerca de 50% das emissões globais de gases estufa para atmosfera, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, com efeitos diretos para o aquecimento global e, por consequência para a alteração dos padrões climáticos resultante desse (GOODLAND e ANHANG, 2009; JOHNSON et al., 2005; LIMA, 2002).

Apesar de constituir uma atividade influenciada pelas mudanças climáticas, podendo ser afetada diretamente pela inconstância e severidade dessas alterações, a aquicultura também constitui uma atividade colaboradora para o efeito estufa através dos processos básicos que ocorrem no sistema solo-água-animais, podendo atuar como fonte ou dreno destes gases dependendo das práticas de manejo utilizadas (SCHOTT et al, 2016; YANG et al, 2012; ORJUELA et al, 2011; BOYD et al, 2010; ENRICH-PRAST e PINHO, 2008; COLE et al. 2007; SANTOS et al, 2008). A aquicultura tem se destacado entre os principais sistemas de produção de animais em confinamento, apresentando-se como uma forma eficiente de produção de proteína de origem animal para alimentar a crescente população mundial que se desenvolve, principalmente por apresentar diversas vantagens em relação a outras atividades,

como por exemplo, curtos ciclos de produção, elevado nível tecnológico e demanda de pequeno espaço para produção (FAO, 2016).

Os impactos causados pelos sistemas de produção de organismos aquáticos variam muito de acordo com a espécie cultivada e os níveis de intensificação de produção. Há sistemas que são considerados pouco impactantes, podendo inclusive oferecer alguns benefícios ambientais (VALENTI et al., 2011; 2010). Anualmente a nível mundial cerca 16,6 milhões de toneladas de carbono estão submersos em tanques de aquicultura, divididos em 13,1 milhões de toneladas em cultivos desenvolvidos em água doce e 3,5 em cultivos em água salobra. Este valor é cerca de metade da quantidade observada em lagos naturais e águas interiores que juntos somam 34 milhões de toneladas (BOYD, 2010). Além disso, se a aquicultura mundial continuar a aumentar no ritmo atual, com crescimento anual médio de quase 8% poderia ser responsável por 5,7% das emissões antrópicas de N_2O até 2030 (HU et al., 2012).

Estes fatos sugerem que a emissão de gases do efeito estufa a partir das atividades de aquicultura é um problema com importantes contribuintes regionais que influenciam as mudanças climáticas globais (COLE et al., 2007). Desta forma, a quantificação dos impactos ambientais na aquicultura apresenta-se como tendência mundial na produção de alimentos, sobretudo no que se refere às emissões de gases do efeito estufa. Por isso, conhecer a dinâmica de emissão destes gases também é essencial para a medição da sustentabilidade da aquicultura. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi identificar e quantificar o fluxo de gases do efeito estufa na produção do camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) sob diferentes condições de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido em uma área comercial de cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em viveiros escavados operado pela fazenda Aquarium Aquicultura do Brasil Ltda (Lat. 5° 6'S, Long. 37° 16' W), no município de Mossoró/RN/Brasil (Figura 1). De acordo com IDEMA/RN (2011), pela classificação de Köppen, o tipo climático da região é o *Bsh*, caracterizado como clima semiárido, com baixa umidade e pouco volume pluviométrico. Apresenta precipitação média entre 200 mm e 400 mm. A fazenda está localizada à margem esquerda do estuário do rio Mossoró e construída junto a áreas de manguezais, possui 800 hectares de área total com uma área 300 hectares em funcionamento, distribuídos em cerca de

80 viveiros de engorda com tamanhos que variam de 0,26 a 15 ha, trabalhando com densidades que variam de 10 a 100 camarões/m² durante o período de estudo.



Figura 1: Localização dos viveiros de cultivo, com ênfase para a área de estudo

2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido com um delineamento inteiramente casualizados, com dois tratamentos. Cada tratamento foi realizado com quatro repetições simultaneamente, perfazendo um total de 8 unidades experimentais, com áreas variando de 2600 a 26000 m². O manejo utilizado seguiu os procedimentos operacionais diários utilizados na fazenda. Onde foram utilizados dois conjuntos de manejo distintos para os ambientes experimentais, variando quanto às densidades de estocagem, tipo de fertilização e método de arraçoamento.

O primeiro tratamento - Manejo 1 (M1) foi constituído por quatro viveiros povoados com uma densidade de estocagem de 92 camarões/m². Empregando fertilização inicial que consistia em uma mistura com 100 kg/ha de farelo de trigo, 30 kg/ha de nitrato de cálcio, 20 kg/ha de silicato e 20 kg/ha de melaço, e fertilizações de manutenção quinzenais com a aplicação de nitrato de cálcio, na proporção de 30 kg/ha, aliada a aplicação semanal de melaço, na proporção de 10 kg/ha. O arraçoamento nesse tratamento consistia no método de alimentação exclusiva em bandejas para a oferta de ração nos viveiros. Já o segundo tratamento - Manejo 2 (M2) foi constituído por quatro viveiros povoados com uma densidade de 14 camarões/m². Utilizando fertilização inicial semelhante ao primeiro tratamento, porém com fertilizações de manutenção constituídas apenas pela aplicação do nitrato de cálcio, na

proporção de 30 kg/há. O arraçoamento nesse tratamento consistiu na ofertada de ração através do método de voleio.

Para ambos os tratamentos utilizou-se basicamente três tipos de ração comercial com diferentes composições (Tabela 1): A Fase 1: usada desde o povoamento até 10 dias de cultivo; Fase 2: usada logo após a fase 1 até o camarão atingir 3 g e a Fase 3 (ração de engorda): utilizada a partir de 3 g até a despesca. Durante o experimento, os camarões dos dois tratamentos foram alimentados inicialmente quatro vezes ao dia, sendo ofertado a 10% da biomassa até o peso médio dos indivíduos atingir cerca de 1g, e, a partir desse momento a taxa de alimentação foi gradativamente reduzida até 2% da biomassa no final do experimento, sendo ofertada em duas refeições diárias. Com isso, a ração fornecida aos camarões nos quatro viveiros de cada um dos dois tratamentos foi de 1967 kg para a M1 e de 4563 kg para a M2, com valores médios de 491,7 kg ($\pm 21,6$) em M1 e 1140,7 kg ($\pm 174,3$) para M2.

Tabela 1. Caracterização das rações comerciais utilizadas no cultivo.

Fases	PB (%)	P (%)	E.E.(%)	Granulometria (mm)
Fase 1	40	1,3	0,9	0,54 a 1,0
Fase 2	40	1,3	0,9	1,0 a 1,8
Fase 3	35	1,2	0,85	2,5

Legenda: % PB: Porcentagem de proteína bruta na ração; % P: Porcentagem de fósforo na ração, % E.E: Porcentagem de extrato etéreo.

Foram feitas coletas no início, meio e fim do cultivo em cada unidade experimental de ambos os tratamentos, totalizando 53 dias de cultivo, onde foram realizadas medidas de emissão difusiva e ebulitiva dos gases do efeito estufa, identificando e quantificando as emissões de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O). Uma série de variáveis independentes também foram medidas nestes pontos para verificar a influência desses parâmetros no fluxo dos gases, incluindo medidas temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, transparência, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais em suspensão, turbidez, condutividade elétrica, fósforo total, ortofosfato e as concentrações do carbono orgânico e inorgânico na coluna d'água dos viveiros.

A contribuição de emissão difusiva superficial em $\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ foi estimada utilizando uma câmara de difusão (SANTOS et al, 2005). A coleta foi feita posicionando a câmara de difusão voltada para baixo, sobre a superfície da água, assim os gases que provêm dos viveiros gradativamente tendem a se concentrar neste ar aprisionado dentro da câmara. Após isso, as amostras eram retiradas da câmara de difusão a partir de uma série temporal de

amostras de gás coletadas com seringas de 30 ml no tempo 0, 1, 2, e 4 minutos após sua colocação na superfície da água, e posteriormente armazenadas em câmaras gasométricas. O procedimento para a coleta das amostras por difusão foi realizado no período diurno e noturno.

As emissões por ebulição foram estimadas com o auxílio de funis invertidos submersos (SANTOS et al, 2005), com diâmetro de 0,0707 m², e fixados logo abaixo da superfície dos viveiros com um frasco cheio de água ligado ao seu topo. Os funis foram presos de forma a permitir que esses alcancem uma região próxima ao fundo dos viveiros, forçando as bolhas em formação a se desprenderem e subirem ao topo do funil, acumulando-se no frasco. O tempo de permanência do funil na água foi de 24 horas, ao final desse período o gás acumulado foi retirado, e posteriormente armazenadas em câmaras gasométricas, e o volume anotado. Posteriormente, as câmaras gasométricas foram transportadas para laboratório para a determinação das concentrações de (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) através de análise cromatográfica. As concentrações dos gases obtidas da análise do cromatógrafo foram dadas em % e posteriormente transformadas em ppm. Os dados médios diários para todos os gases obtidos por difusão e ebulição em cada tratamento foram somados para se obter o fluxo total de cada gás em mg.m⁻².d⁻¹ para o período de 24 horas, indicando com esses resultados se os viveiros de cultivo de camarão emitem ou absorvem os gases do sistema.

As amostras de água também foram coletadas quinzenalmente, duas vezes ao dia, pela manhã e à noite, assim como monitorados os parâmetros de qualidade de água como oxigênio dissolvido, temperatura, pH, salinidade, condutividade elétrica, potencial de oxirredução, turbidez e TDS utilizando-se uma sonda multiparamétrica (Horiba U-50, Kyoto, Japan) para todas as unidades experimentais. Para a obtenção dos dados de clorofila a, amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total, carbono total, orgânico e inorgânico as amostras foram coletadas na coluna d'água e acondicionadas para posterior filtragem a vácuo em laboratório, utilizando filtros de membrana de celulose (diâmetro de 47 mm e porosidade de 0,45 micras). As concentrações foram determinadas por espectrofotometria conforme as recomendações descritas para cada análise. Ao término do experimento, os parâmetros de avaliação do desempenho zootécnico avaliados foram: peso médio final (g), fator conversão alimentar aparente (fca), taxa de sobrevivência (%). Os dados de qualidade de água e dos parâmetros zootécnicos do cultivo para os dois tratamentos estão apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2: Características limnológicas da coluna d'água dos viveiros de cultivo de camarão marinho nos diferentes tratamentos.

PARÂMETROS	M1	M2	Níveis de Referência
Salinidade (ppt)	32,46	31,90	0,5 – 35
Transparência (cm)	31,56	33,75	30 – 50
Temperatura (°C)	28,96	29,14	28 - 32 ° C
Ph	8,43	8,50	6 - 9.
ORP (mv)	121,36	137,89	400 – 500
Condutividade Elétrica (us/cm)	45,98	45,92	23 – 71
Turbidez (NTU)	116,11	103,34	≤ 100
OD (mg/l)	7,56	7,31	5,0 – 9
% OD	119,16	116,54	-
TDS (g/L)	28,49	28,11	100
Clorofila A [ug/l]	11,90	5,69	≤ 30
Amônia [ug/l]	162,37	178,00	100 – 1000
Nitrato [ug/l]	712,80	690,60	≤ 1000
Nitrito [ug/l]	4,38	2,68	≤ 10
Ortofosfato [ug/l]	217,94	99,78	5 – 200
TIC [mg/l]	27616,00	24360,00	-
TC [mg/l]	47228,81	44892,94	-
TOC [mg/l]	20532,00	19613,00	-
Fósforo Total [ug/l]	1212,74	505,12	1 – 100
MO (mg/L)	4,97	4,73	≤ 4
Sólidos suspensos (mg/L)	551,00	212,00	500
Sólidos Totais (ml/L)	3,37	1,50	10

Legenda: ORP: Potencial de Oxirredução, OD: Oxigênio dissolvido, TDS: Sólidos totais dissolvidos, TC: Carbono total, TIC: Carbono inorgânico total, TOC: Carbono orgânico total, MO: Matéria Orgânica.

Tabela 3. Características zootécnicas do cultivo para os dois tratamentos.

PARÂMETRO	M1	M2
Peso médio final (g)	6,32	9,4
Ganho de peso médio diário (g)	0,12	1,18
Conversão alimentar aparente	1,44	2,95
Sobrevivência (%)	12	32
Ciclos por ano	4	6
Densidade de cultivo (camarões/m ²)	92	14

Legenda: M1: Manejo 1, M2: Manejo 2.

3. RESULTADOS

Os valores médios das variáveis limnológicas analisadas encontraram-se na mesma faixa dos observados em outros trabalhos envolvendo cultivos de *L. vannamei* (JATOBA et al, 2015; SANTOS et al, 2014; GAONA et al, 2011; KRUMMENAUER et al, 2011; LIN e CHEN, 2003; 2001), sendo considerados adequados para o cultivo de camarões de marinho.

3.1. FLUXOS DE EMISSÃO EBULITIVA

Os resultados obtidos para os fluxos ebulitivos apresentaram valores médios de emissão de CH_4 de 52,93 ($\pm 32,09$) $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para Manejo 1 (M1) e de 340,37 ($\pm 499,12$) $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para Manejo 2 (M2). Os fluxos médios de CO_2 encontrados para M1 e M2 foram, respectivamente, 20,71 ($\pm 26,66$) e 41,65 ($\pm 61,54$) $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Já os fluxos médios de N_2O encontrados para ambos os tratamentos ficaram próximos à zero, com reduzida amplitude de variação, sendo que os fluxos médios foram de $0,25 \times 10^{-2}$ ($\pm 0,31 \times 10^{-2}$) $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para M1 e $0,3 \times 10^{-2}$ ($\pm 0,11 \times 10^{-2}$) $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para M2 (Figura 2).

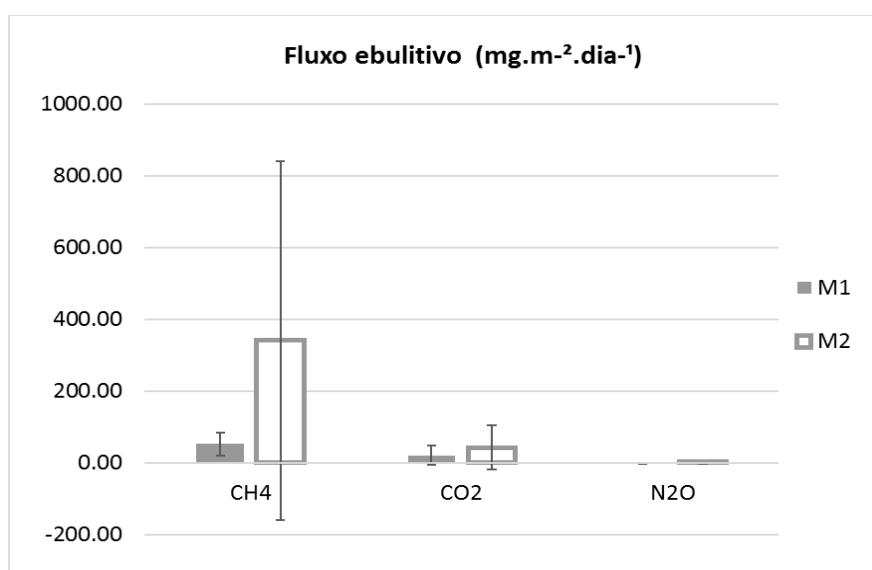


Figura 2: Valores médios e desvios padrão dos fluxos ebulitivos ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento. Legenda: CH_4 – Metano, CO_2 – dióxido de carbono, N_2O – Óxido nitroso, M1: Manejo 1, M2: Manejo 2.

3.2. FLUXOS DE EMISSÃO DIFUSIVA

Os fluxos difusivos de CH_4 encontrados mostram que a taxa de emissão difusiva para M1 apresentou fluxo negativo no período diurno, com média de $-541,43 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, e fluxo positivo período noturno, com média de $173,63 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando um fluxo difusivo diário de CH_4 , equivalente a $-367,80 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O inverso ocorreu para o M2, apresentando um elevado fluxo positivo no período diurno, com média de $951,5 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

e fluxo negativo no período noturno, $-637,97 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando um fluxo difusivo diário de CH_4 positivo com média de $313,52 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (Figura 3).

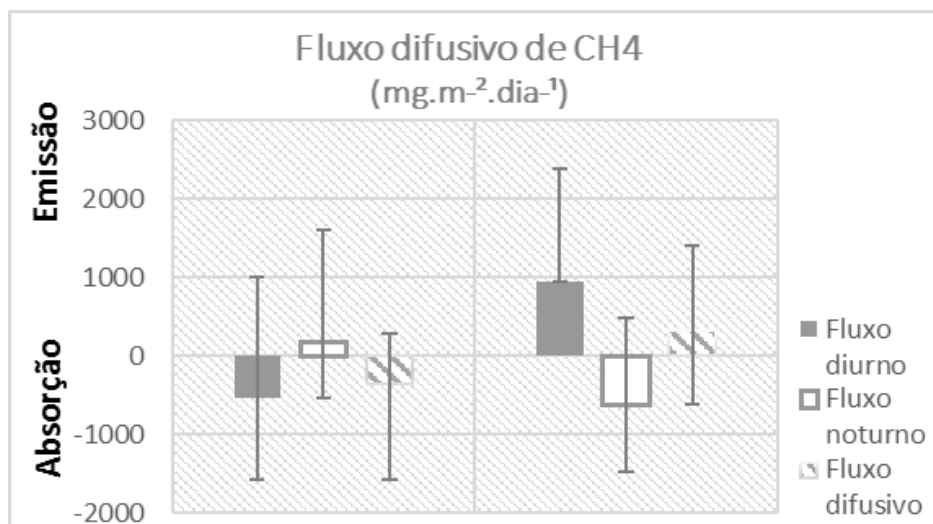


Figura 3: Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de CH_4 ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para cada tratamento. *Legenda: CH_4 , metano, M1: Manejo 1, M2: Manejo 2, Absorção (valores negativos): gases que são absorvidos pelo sistema. Emissão (valores positivos): gases que são liberados pelo sistema.*

Os fluxos difusivos de CO_2 apresentaram valores negativos em M1, sendo observado fluxo com valores mínimos positivos apenas no período noturno enquanto os fluxos apresentados para M2 foram sempre positivos (Figura 4). Nas taxas de CO_2 verificadas para M1 o fluxo no período diurno foi alto com valor médio negativo de $-3797,9 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, enquanto o fluxo no período noturno apresentou valores positivos, com média de $3,75 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando um fluxo difusivo diário negativo de $-3794,22 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Já os viveiros de M2 apresentaram valores positivos para todas as observações com fluxo médio no período diurno de $264,45 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e fluxo no período noturno de $191,40 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando um fluxo difusivo diário de CO_2 de $455,86 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os viveiros de M2 apresentaram apenas emissão de CO_2 durante todo o período de estudo, não havendo absorção pelo sistema.

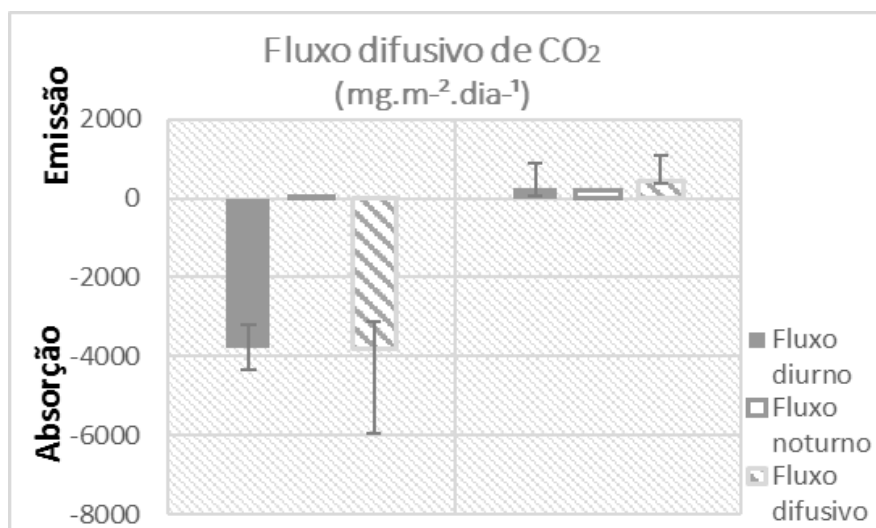


Figura 4: Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de CO₂ (mg.m⁻².dia⁻¹) para cada tratamento. *Legenda: CO₂: dióxido de carbono, M1: Manejo 1, M2: Manejo 2, Absorção (valores negativos): gases que são absorvidos pelo sistema. Emissão (valores positivos): gases que são liberados pelo sistema.*

Mesmo em menores quantidades o N₂O foi emitido para a atmosfera em ambos os tratamentos. Em M1 o fluxo no período diurno absorveu o N₂O com valor médio de -5,20 mg.m⁻².dia⁻¹, enquanto o fluxo no período noturno emitiu o gás numa média de 7,67 mg.m⁻².dia⁻¹, representando um fluxo difusivo diário emissor de 2,46 mg.m⁻².dia⁻¹ de N₂O. Já os valores de N₂O apresentados em M2 foram superiores aos que foram apresentados em M1, apresentando valores médios de fluxo no período diurno de 35,76 mg.m⁻².dia⁻¹ e noturno de -10,17 mg.m⁻².dia⁻¹, representando um fluxo difusivo diário de N₂O de 25,58 mg.m⁻².dia⁻¹ (Figura 5).

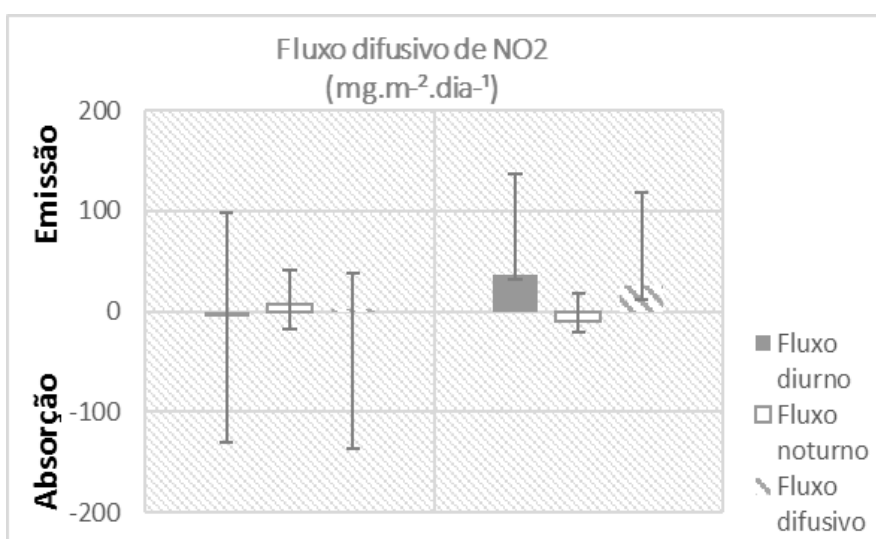


Figura 5: Valores médios e desvios padrão dos fluxos difusivos de N₂O (mg.m⁻².dia⁻¹) para cada tratamento. *Legenda: N₂O: óxido nitroso, M1: Manejo 1, M2: Manejo 2, Absorção (valores negativos): gases que são absorvidos pelo sistema. Emissão (valores positivos): gases que são liberados pelo sistema.*

3.3. FLUXO TOTAL DE GASES

A partir dos valores médios dos fluxos difusivos e ebulitivos somados obteve-se o fluxo total dos gases em $\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ para cada tratamento no cultivo do *L. vannamei*. Para os fluxos de gases do efeito estufa identificados foram observadas variações nos padrões de emissões para os dois tratamentos utilizados, assim como nas concentrações dos gases avaliados. O N_2O apresentou menor contribuição para os dois tratamentos, enquanto o CH_4 e o CO_2 apresentaram diferentes padrões de contribuição em M1 e M2, onde os valores de fluxo negativo apresentados em M1 revelaram a absorção desses gases nesse tratamento, cujo resultado está apresentado na Figura 6. Por convenção, entende-se que fluxos positivos (emissão) ocorrem quando há transferência do gás do meio aquoso para o gasoso, enquanto que fluxos negativos (absorção) expressam a assimilação do gás no sentido inverso, do meio gasoso para aquoso.

Os resultados de fluxos totais obtidos para M1 apresentaram os seguintes valores médios e desvios padrão: CH_4 : $-314,870 \pm 2455,79$; CO_2 : $-3773,511 \pm 9524,75$; N_2O : $2,469 \pm 92,42$ enquanto em M2 os valores foram os seguintes: CH_4 : $653,890 \pm 1726,66$; CO_2 : $497,518 \pm 644,06$; N_2O : $25,590 \pm 65,45$.

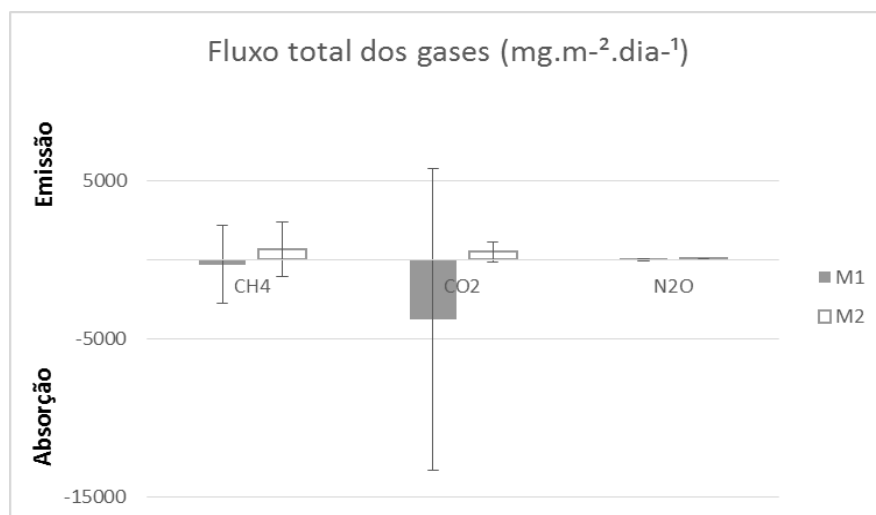


Figura 6: Fluxo total ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) nos viveiros de engorda de camarões marinhos para os dois tratamentos para todos os gases analisados. Legenda: M1: Manejo 1, M2: Manejo 2. Fluxo total: fluxo difusivo + fluxo ebulitivo. Absorção (valores negativos) indicam os gases que são absorvidos pelo sistema, Emissão (valores positivos) indicam os gases que são liberados pelo sistema.

O acompanhamento dos fluxos totais de CH_4 , CO_2 e N_2O entre os períodos de coleta para os dois tratamentos estão apresentados na Figura 7. Evidenciando que apesar de

apresentar um padrão linear de fluxos, M2 apresentou ao longo do período de cultivo valores maiores que M1, apesar de M1 apresentar um padrão crescente de fluxo ao longo do cultivo.

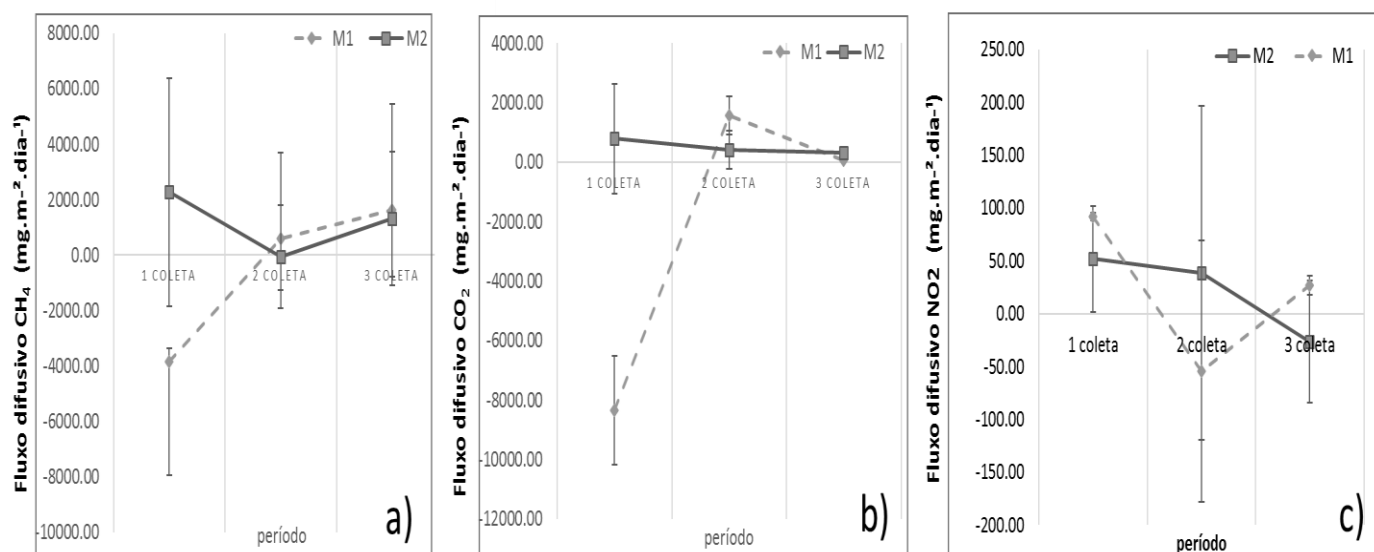


Figura 7: Variação do fluxo de gases e desvios padrão (mg.m⁻².dia⁻¹) para as emissões difusivas entre os períodos de coleta para os dois tratamentos. a) CH₄ – Metano, b) CO₂ – dióxido de carbono, c) N₂O – Óxido nitroso. *Legenda: M1: Manejo 1, M2: Manejo 2.*

Do total de gases produzidos na área de experimento, 55,7% correspondem a CO₂, 42,9% a CH₄ e os demais 1,4% representam o N₂O (Figura 8), onde a contribuição relativa do processo de difusão correspondeu a média de 93,4% do fluxo total registrado para todos os gases produzidos pelos viveiros e o fluxo ebulitivo contribui com apenas 6,6% dos gases registrados (Figura 9). Somando-se isto aos resultados da distribuição percentual dos gases para cada tratamento (Figura 10), pode-se verificar padrões diferentes de distribuição dos gases para M1 e M2, onde os dois tratamentos apresentam valores superiores a 60% de representação para diferentes gases. M1 apresentou 62,2% de CO₂, seguido por 36,7% de CH₄ e 1,1 de N₂O, já M2 apresentou valores semelhantes, porém para gases distintos, apresentando 64,3% de CH₄, 33,2% de CO₂ e 2,5% de N₂O. Assim é possível relacionar que em condições semelhantes aos expostos para M1 favorecem o maior fluxo de CO₂, enquanto condições semelhantes a M2 favorecem a fluxo de CH₄. Cabe lembrar que, conforme mostrado nos gráficos 8 e 9, a contribuição do N₂O nas emissões de gases do efeito estufa foi menor que 5% para ambos os tratamentos, estando na faixa descrita para áreas tropicais, ou seja, entre 0 e 20% (IHA, 2010).

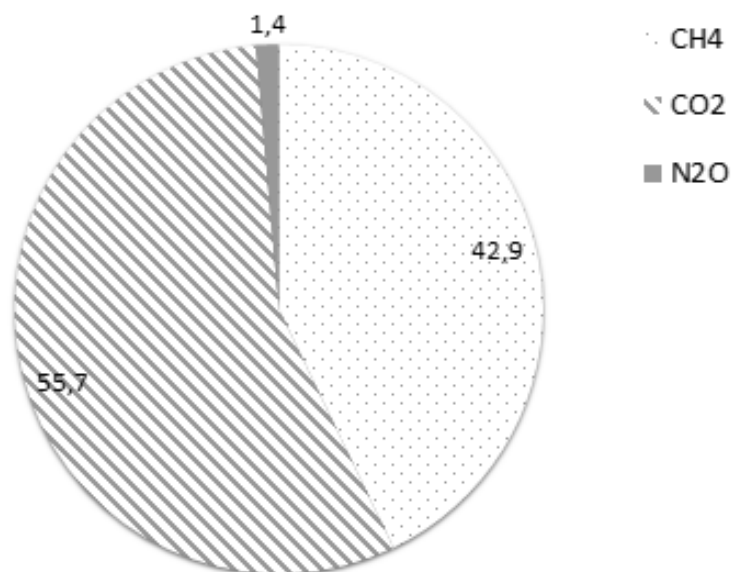


Figura 8: Distribuição quantitativa dos gases produzidos durante o período de estudo. *Legenda: CH₄ –Metano, CO₂ – dióxido de carbono, N₂O – Óxido nitroso. Fluxo total: emissão difusiva + emissão ebulitiva.*

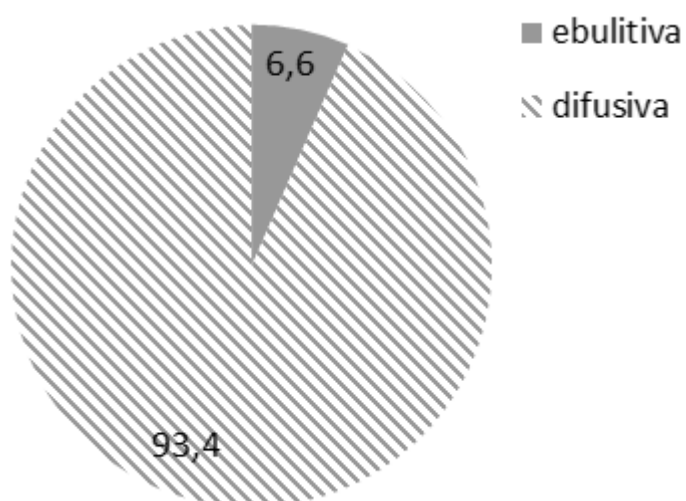


Figura 9: Comparação da contribuição percentual dos gases obtidos pelos dois métodos ebulitivo e difusivo para os dois tratamentos.

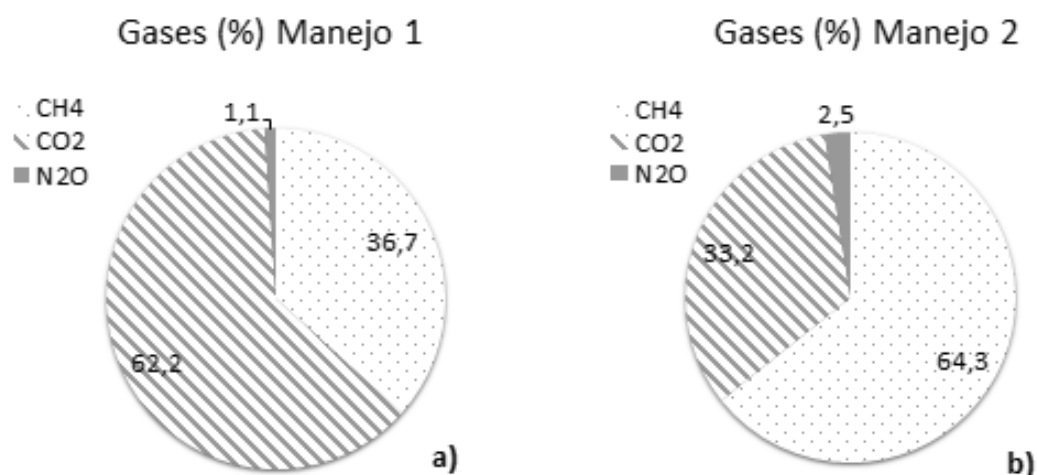


Figura 10: Comparação da contribuição percentual dos gases obtidos para os diferentes manejos realizados. a) Manejo 1, b) Manejo 2. Legenda: CH₄: Metano, CO₂: dióxido de carbono, N₂O: Óxido nitroso.

4. DISCUSSÃO

Durante o período de estudo, as concentrações de CH₄ registradas apresentaram padrões distintos de fluxo médio entre os dois tratamentos. Enquanto M1 apresentou taxas de CH₄ negativas, indicando a tendência de absorção desse gás nesse tratamento, M2 apresentou valores de fluxo positivos, sugerindo a emissão do CH₄ para esse tratamento. A emissão média de 653,89 mg.m⁻².dia⁻¹ apresentada neste trabalho para M2 é relativamente alta e contrasta com os valores apresentados para M1 (-314,9 mg.m⁻².dia⁻¹). A maioria dos estudos que relatam as emissões de metano na aquicultura, mesmo registrando níveis menores, apresentam sempre fluxos positivos como o verificado nesse estudo para M2. Frei e Becker (2005), avaliando o cultivo consorciado de peixe e arroz, verificaram concentrações de CH₄ de aproximadamente 326,4 mg.m⁻².dia⁻¹ para o cultivo consorciado de *Cyprinus carpio* e arroz e 290,4 mg.m⁻².dia⁻¹ para o policultivo de *Cyprinus carpio* e *Oreochromis niloticus* integrado ao cultivo de arroz. Assim como Franco e Forsberg (2013), ao avaliar o cultivo de *O. niloticus* cultivado em tanques-rede em baixas densidades no reservatório da usina hidrelétrica de Balbina/AM, também encontraram valores próximos aos obtidos por Frei e Becker (2005) (194,81 mg.m⁻².dia⁻¹). Em contraste as altas emissões relatadas, Preto (2012) ao estudar o cultivo do *Macrobrachium amazonicum* em viveiros de engorda com densidade de 45 camarões/m², obteve resultados bem menores, registrando emissão média de 32,55 mg.m⁻².dia⁻¹ deste gás para cultivo desta espécie. Demonstrando a tendência de diminuição da emissão de metano em favor do aumento da densidade como apresentado nesse estudo para M1.

Apesar disso, conforme apresentado por Frei e Becker (2005) existem outros mecanismos que influenciam as emissões do metano, sobretudo no que diz respeito à resposta do ambiente de cultivo aos insumos fornecidos. A diferença entre os padrões de emissão apresentados entre tratamentos pode ser verificada porque as emissões de CH_4 são o resultado do balanço entre a produção do gás por metanogênese e a oxidação por processos metanotróficos (Ball et al., 1999a; Baggs et al., 2006). Este efeito tem sido relacionado principalmente porque o solo sofre perturbação, através do não aproveitamento da fertilização e o maior acúmulo de detritos orgânicos (Baggs e Blum, 2004; Suwanwaree e Robertson, 2005; Mojeremane et al., 2011), que quando tem sua concentração aumentada pode causar o aumento do CH_4 (Chan e Parkin, 2001). Enquanto aqueles que são menos perturbados pelo excesso de nutrientes agem como um dreno natural de CH_4 .

Pode-se constatar que M1 apresentou um manejo alimentar mais eficiente, com a alimentação exclusiva em bandejas, proporcionando uma redução significativa nos desperdícios de ração e melhorando os índices de conversão alimentar, quando comparado a M2. A maior emissão de CH_4 em M2, provavelmente esteve relacionada com o maior acúmulo de detritos orgânicos nos sedimentos pela presença de alimentos não utilizados, visto que quanto maior a decomposição anaeróbica da matéria orgânica no ambiente maior será a concentração de gases produzidos. Enquanto isso, os fluxos negativos de CH_4 em M1 podem ser justificados, não só pelo manejo alimentar mais eficiente, mas pelo efeito da aplicação do fertilizante orgânico (melaço) como fonte de carbono que foi realizado apenas nesse tratamento. Segundo Gregorich et al. (2005), qualquer operação que envolva a entrada de N e C no ambiente pode ter efeito significativo sobre a produção e consumo de CH_4 . Desta forma, as distinções entre os valores e os padrões de emissão de metano obtidos para os dois tratamentos neste trabalho, mais do que pela influência da densidade, explicam-se pelas diferentes características de funcionamento entre os ambientes de cultivo.

Com relação à produção de CO_2 , observou-se o mesmo padrão encontrado para o CH_4 , onde as taxas de CO_2 em M1 apresentaram taxas de fluxo médio negativo, enquanto M2 apresentou valores de fluxos positivos, indicando a absorção do CO_2 em M1 e emissão em M2. Os fluxos de CO_2 em M2 ($497,518 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) também foram superiores aos encontrados em M1 ($-3773,51 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), e que os dois foram inferiores aos resultados encontrados por Preto (2012) no cultivo do *M. amazonicum* em diferentes substratos utilizando densidade de 45 camarões/ m^2 ($1346,76 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) não mostrando qualquer associação entre a densidade de estocagem e a produção de CO_2 . No trabalho de Preto (2012)

esperava-se que, devido ao balanço entre fotossíntese e respiração, houvesse absorção do CO₂ ao longo do dia e sua emissão durante a noite. Porém, os resultados demonstram que houve a absorção de CO₂ somente em um dos tratamentos, os demais apenas emitiram. O mesmo modelo ocorreu nesse estudo para M1, obtendo alta taxa de absorção de CO₂ para esse tratamento, enquanto M2 apenas emitiu CO₂. Isso pode ter sido provocado pela maior disponibilidade de matéria orgânica em M2 resultante do maior aporte de ração fornecida nesse tratamento, além de uma maior quantidade de nutrientes lançados do sedimento para a coluna d'água gerada através da fertilização em M1 que devem ter favorecido maior crescimento do fitoplâncton nesse tratamento.

Considerando a relação direta entre o aumento da quantidade de fitoplâncton com a absorção de CO₂, fica evidente que a quantidade de fitoplâncton apresentada em M1 favoreceu a maior absorção de CO₂ nesse tratamento. Assim, este fluxo negativo provavelmente deve-se a captação de CO₂ pela fotossíntese do fitoplâncton presente na água, que excedeu as emissões para a transferência de CO₂. Indicando de tal modo que a assimilação de CO₂ pelo fitoplâncton, solo e animais dominou os fluxos de CO₂ em M1. Diferentemente do que ocorreu em M2 onde a concentração de CO₂ apresentou um aumento, em relação a M1.

As taxas de emissão do N₂O apresentaram valores similares entre os dois tratamentos, onde ambos apresentaram valores de fluxos positivos, indicando a emissão desse gás nos dois tratamentos. As taxas de emissão do N₂O para os dois tratamentos foram menores que as observadas para os outros gases analisados. No entanto, embora constitua uma pequena parte das emissões dos gases do efeito estufa encontrados, o N₂O possui um alto potencial de aquecimento global, mesmo em pequenas quantidades. O impacto comparativo de uma unidade de N₂O sobre o aquecimento global é 280 vezes maior do que de CO₂, além disso, sua dissipação é bastante lenta podendo demorar até 150 anos (SCHOTT, 2016; CERRI et al., 2007).

Semelhantes aos outros gases analisados, as maiores concentrações de N₂O também foram encontrados em M2. Ferreira et al. (2014), em estudo realizado na produção de peixes em tanques-rede no reservatório da usina Hidrelétrica de Furnas/MG, encontraram emissões de N₂O na faixa de 0,28 mg.m⁻².dia⁻¹. Já Paudel et al. (2015), avaliando o cultivo intensivo do peixe *Clarias fuscus*, encontraram emissões na faixa de 0,65 mg.m⁻².dia⁻¹ para este mesmo gás, no entanto esses trabalhos foram desenvolvidos em ambientes naturais. Segundo Hu et al. (2012) embora existam alguns estudos sobre a produção de N₂O em ecossistemas aquáticos

naturais (como rio, estuário e oceano), a produção do N_2O na aquicultura em cativeiro, devido aos processos de nitrificação e desnitrificação, se assemelham mais a resultados encontrados em sistemas de tratamento de águas residuais como o apresentado por Bicudo et al. (2015) ($4,4 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) que apresenta resultados mais próximos aos encontrados nessa pesquisa. Deste modo, a quantidade de N_2O produzido na aquicultura varia tanto em função das espécies cultivadas quanto do ambiente de cultivo.

O Óxido Nitroso é produzido nos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, e o N adicionado ao sistema via fertilizante e ração, assim também como a decomposição da matéria orgânica é um dos principais fatores que controlam esses processos (SINGURINDY et al., 2009). Embora o uso de fertilizantes tenha efeito direto nas emissões de N_2O como demonstrado em muitos estudos (Akiyama et al., 2004; Jones et al., 2007; Rochette et al., 2008), no presente estudo esse efeito foi observado em menor intensidade em M1 do que em M2. Tal resultado pode ser explicado com base em dois aspectos: segundo Millar e Baggs (2004), a introdução de fertilizantes, como nitrato de cálcio, como substrato disponível para a produção de N em ambientes onde ocorre maior decomposição da matéria orgânica, aumenta a produção de N_2O , fato comprovado nos resultados apresentados para M2. A outra forma seria controlar os fluxos de N_2O através pela adição de C pelo fertilizante orgânico (melaço), que é conhecido por estimular a desnitrificação (Jones et al., 2007) o que justificaria o menor fluxo de N_2O em M1.

Alguns estudos têm demonstrado a variação das emissões dos gases em diferentes atividades de produção animal (tabela 4). De modo geral, as estimativas de emissões de gases de efeito estufa na produção animal apresentam uma grande amplitude de variação, em decorrência da complexidade dos sistemas de produção e de sua imprevisibilidade, por envolver um objeto instável como o componente animal. A Tabela 4 apresenta dados comparativos sobre as emissões dos principais gases causadores do efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) em estudos conduzidos com animais em confinamento (pecuária, suinocultura, avicultura e aquicultura) e em estudos realizados em reservatórios de água para geração de energia elétrica.

Tabela 4: Valores comparativos de emissão de gases (mg.m².dia⁻¹) em diferentes atividades.

ATIVIDADES	Gases (mg.m².dia ⁻¹)			AUTORES
	CH ₄	CO ₂	NO ₂	
PRODUÇÃO ANIMAL				
Pecuária	119400			Berchielli et al. (2013)
Pecuária	142600			Lage et al. (2012)
Suínocultura	816	10944	5,76	Amorim et al. (2013)
Avicultura	4,22	40,69	2,67	Santana (2016)
PISCICULTURA				
<i>O. niloticus</i> ¹	194,81	6354		Franco e Forsberg (2013)
<i>O. niloticus</i> ¹			0,28	Ferreira et al. (2014)
<i>C. idella</i> ² + <i>H. molitrix</i> ³		97,8		Chen et al. (2015)
<i>C. carpio</i> ⁴ + Arroz	326,4			Frei e Becker (2005)
<i>C. carpio</i> ⁴ + Arroz + <i>O. niloticus</i> ¹	290,4			Frei e Becker (2005)
<i>C. fuscus</i> ⁵			0,65	Paudel et al (2015)
CARCINICULTURA				
<i>M. amazonicum</i> ⁶	32,55	1346,76		Preto (2012)
<i>L. vannamei</i> (manejo 1) ⁷	-314,9	-3773,5	2,5	Presente Trabalho
<i>L. vannamei</i> (manejo 2) ⁷	653,9	497,5	25,5	Presente Trabalho
AGRICULTURA				
Cultivo de arroz	245,8			Costa et al. (2005)
Cultivo de arroz	229,1			Lima et al (2003)
Cultivo de arroz	256,8			Frei e Becker (2005)
Cana de açúcar (fertilizantes)		11330	53,54	Degaspari et al. (2013)
Cana de açúcar (solo natural)		9660	5,2	Degaspari et al. (2013)
Eucalipto (fertilizantes)	57,53			Souza et al. (2013)
Eucalipto (solo natural)	-43,8			Souza et al. (2013)
AMBIENTES AQUÁTICOS				
Hidrelétrica (Região amazônica)	196	84574,5		Faria et al. (2015)
Hidrelétrica (Itaipu)	10,7	170		Faria et al. (2015)

Legenda: ¹ *Oreochromis niloticus*, ² *Ctenopharyngodon idella*, ³ *Hypophthalmichthys molitrix*, ⁴ *Cyprinus carpio*, ⁵ *Clarias fuscus*, ⁶ *Macrobrachium amazonicum*, ⁷ *Litopenaeus vannamei*, CH₄ – Metano, CO₂ – dióxido de carbono, N₂O – Óxido nitroso.

Comparando-se todas as atividades apresentadas na tabela 4, observa-se que o cenário de menor emissão de gases foi verificado pela avicultura. Enquanto, a pecuária, como esperado foi o maior emissor de CH₄ (Berchielli et al., 2013; Lage et al., 2012), porém não apresentando emissões representativas para os demais gases. Em relação à aquicultura, a carcinicultura (presente trabalho), apresentou a maior emissão de N₂O, sendo inferiores apenas as emissões observadas no cultivo de cana de açúcar. Esse resultado é relevante, uma

vez que o N_2O representa o gás com maior potencial de aquecimento global mesmo em pequenas quantidades de emissões.

Na tabela 5 estão apresentados os principais gases causadores do efeito estufa, CO_2 , CH_4 e N_2O , avaliados e reunidos pelo seu potencial de aquecimento global ao longo de 100 anos. Esses resultados são expressos em carbono equivalente. Carbono equivalente (CO_2 -eq) é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários gases do efeito estufa baseado no potencial de aquecimento global (PAG). O CO_2 -eq é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa (GEE) pelo seu potencial de aquecimento global (IPAM, 2013). Vale ressaltar que os resultados estão apresentados por ordem decrescente de emissões totais de gases do efeito estufa. Para efeito de comparação, foram considerados os valores dos gases referentes a diferentes sistemas de produção agropecuária, como a pecuária, suinocultura, avicultura, ovinocultura e carcinicultura. O nível total de emissões de gases de efeito estufa na produção animal em $kg\ CO_2$ -eq / kg de carne foram mais altos para a pecuária, ovinocultura e carcinicultura no tratamento com manejo 2 (com 18,8, 14, 11,6 $kg\ CO_2$ -eq por kg de carne, respectivamente) e menores para a carcinicultura que utilizou manejo 2, suinocultura e avicultura, (com 6,2, 3,6 e 2,1 $kg\ CO_2$ -eq por kg de carne, respectivamente). Se considerado apenas o gás com maior potencial de efeito estufa, o N_2O , as maiores emissões em $kg\ CO_2$ -eq/ kg de carne foram observados na ovinocultura, carcinicultura e na pecuária, respectivamente.

Tabela 5: Emissões de gases de efeito estufa para diferentes sistemas de produção agropecuária em expostas em $kg\ CO_2$ -eq / kg de carne avaliados e reunidos pelo seu potencial de aquecimento global ao longo de 100 anos.

GASES	Nemry et al (2001)				Presente estudo				Nemry et al (2001)			
	Ovinocultura		Pecuária		Carcinicultura		Carcinicultura		Suinocultura		Avicultura	
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]
CH_4	7,6	40,5	6,3	42,4	3,6	30,8	1,7	27,7	1,7	46,2	0,7	31,1
CO_2	1,9	9,9	3,4	23,2	0,5	4,3	3,8	60,6	0,9	24,7	0,8	37,4
N_2O	9,3	49,6	5,1	34,5	7,5	64,9	0,7	11,7	1,1	29,1	0,7	31,5
Total	18,8	100	14,8	100	11,6	100	6,2	100	3,6	100	2,1	100

Legenda: CH_4 – Metano, CO_2 – dióxido de carbono, N_2O – Óxido nitroso, [1] emissões por $kg\ CO_2$ -eq / kg de carne, [2] distribuição percentual entre os três gases considerados. Adaptado de Nemry et al (2001), do relatório ao Programa "Mudança Global e Desenvolvimento Sustentável".

A tabela 6 mostra uma estimativa da emissão global de N₂O até 2030 em diferentes grupos de espécies cultivadas na aquicultura, onde fica evidente a dominância da produção de N₂O pelo cultivo de camarões e demais crustáceos sobre as demais espécies alcançando cerca de metade da quantidade estimada da emissão global de N₂O até 2030 para aquicultura, exemplificando o alto potencial da carcinicultura para a emissão desse gás.

Tabela 6: Estimativa emissão global de N₂O até 2030

Grupo de espécies	Estimativa emissão global de N₂O até 2030 (tonelada métrica)
Carpas, barbilhões, ciprinídeos	86997
Bacalhaus e pescadas	647
Atum e bonitos	29
Salmões, trutas	36547
Tilápias	17271
Esturjões	7629
Camarão	63235
Caranguejos	853
Outros crustáceos	61235
Ostras	9922
Mexilhões	4501
Vieiras	7791
TOTAL	296657

Legenda: (Adaptado de Hu et al, 2012) tabela elaborada a partir de dados publicados no relatório da Fisheries of the United States sobre aquicultura mundial (2009).

5. CONCLUSÃO

Considerando as emissões de gases do efeito estufa em diferentes atividades do setor agropecuário pode se observar que em termos quantitativos a pecuária continua a ser a principal fonte de emissão de gases, representado especialmente pelo CH₄. No entanto, as emissões apresentadas pela carcinicultura, são potencialmente mais críticas, devido principalmente às emissões de N₂O, como observadas no presente trabalho, visto que este gás possui um elevado potencial de contribuição para o aquecimento global. Por outro lado, a carcinicultura, em particular a realizada com o uso de fertilizantes orgânicos como melaço combinada a um cultivo com melhor aproveitamento de ração, apresentou potencial de absorção de alguns gases, como CH₄ e CO₂. Pode-se concluir, pelo presente estudo, que o tratamento com o cultivo de *L. vannamei* que utilizou o conjunto de manejo 1, emitiu mais gases do efeito estufa do que o tratamento com manejo 2. Os resultados desse trabalho com *L. vannamei* demonstram o manejo do sistema produtivo desta espécie pode influenciar no fluxo

de gases causadores do efeito estufa. E que o aporte de melaço, que tende favorecer a desnitrificação, e o melhor aproveitamento da ração no cultivo podem ter contribuído para a menor emissão destes gases, quando comparada com as emissões do cultivo onde houve um grande aporte de alimento que não foi consumido em sua totalidade por *L. vannamei*, fato este comprovado pelo elevado valor de conversão alimentar aparente constatado neste cultivo. Neste contexto, estas informações poderão ser utilizadas como subsídios para o planejamento de um manejo de cultivo adequado desta espécie de camarão, visando à redução das emissões de gases produzidos pela atividade.

6. REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, H., MCTAGGART, I.P., BRUCE C. BALL, B.C., SCOTT, A. N₂O, NO, and NH₃ emissions from soil after the application of organic fertilizers, urea and water. **Water, Air, and Soil Pollution**. v.156, p. 113–129, 2004.
- ALMEIDA, R. M., NÓBREGA, G. N., JUNGER, P. C., FIGUEIREDO, A. V., ANDRADE, A. S., et al. High Primary Production Contrasts with Intense Carbon Emission in a Eutrophic Tropical Reservoir. **Front microbiology**, v. 7, 2016.
- AMORIM, B. N.; OLIVEIRA, P. A. V.; TAVARES, J. M. R. Emissão de gases na produção de suínos, nas fases de crescimento e terminação. In **XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola** – CONBEA, Fortaleza, 2013.
- BAGGS, E. M.; CHEBII, J.; NDUFA, J. K. A Short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 90, p. 60-76, 2006.
- BAGGS, E.M., BLUM, H. CH₄ oxidation and emissions of CH₄ and N₂O from *Lolium perenne* swards under elevated atmospheric CO₂. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 36, p. 713-723, 2004
- BALL, B.C., SCOTT, A., PARKER, J.P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. **Soil and tillage research**. v. 53, p. 29-39. 1999.
- BASTVIKEN, D; TRANVIK, L.J.; DOWNING, J. A.; CRILL, P.M.; ENRICH-PRAST, A. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. **Science**. v. 331, p. 50, 2011.
- BERCHIELLI, T. T.; PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S. G.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M.; FRIGUETO, R. Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso: concentrado. In: **reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**, p. 40, 2003.
- BICUDO, B. R., MALVEZZI, B. L., PEREIRA, E. R. Aspectos principais sobre o uso de tecnologias alternativas para auxiliar no tratamento de efluentes de restaurante universitário. In **15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. v. 15, p 1-8, 2015.

BOYD, C. E.; WOOD, C. W.; CHANEY, P. L.; QUEIROZ, J. F. Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. **Environmental Pollution**. v. 158, p. 2537 – 2540, 2010.

CAILLEAUD, E.; GUÉRIN, F.; BOUILLON, S.; SARRAZIN, M.; SERÇA, D. **Spatial variability of greenhouse gases emissions (CO₂, CH₄, N₂O) in a tropical hydroelectric reservoir flooding primary forest (Petit Saut Reservoir, French Guiana)**. EGU General Assembly 2014. Vienna, Austria, 2014.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientific Agriculture**, n. 64, p. 83-99, 2007.

CHAN, A. S. K., PARKIN, T. B. Methane oxidation and production activity in soils from natural and agricultural ecosystems. **Journal of environmental quality**. v. 30, p. 1896-1903, 2001.

CHEN, Y., DONG, S., WANG, Z., WANG, F., GAO, Q., TIAN, X., XIONG, Y. Variations in CO₂ fluxes from grass carp *Ctenopharyngodon idella* aquaculture polyculture ponds. **Inter-Research Science**. V.8, P. 31-40, 2015.

COLE, J.J.; PRAIRIE, Y.T.; CARACO, N.F.; MCDOWELL, W.H.; TRANVIK, L.J.; STRIEGL, R.G.; DUARTE, C.M.; KORTELAJINEN, P.; DOWNING, J.A.; MIDDELBURG, J.J., MELACK, J. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. **Ecosystems**, v. 10, p. 171-184, 2007.

COSTA, F.S. **Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro**. 2005. 128p. Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DATTA, A.; NAYAK, D.R.; SINHABADU, T.K.; ADHYA, T.K. Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice-fish farming system of Eastern India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 129, p. 228-237, 2009.

DEAN, W.E., GORHAM, E. Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands: **Geology**, v. 26, p. 535-538, 1998.

DEGASPARI, I. A. M.; PACKER, A. P. C.; RAMOS, N. P.; CARMO, J. B.; ROSSETTO, R.; PINO JÚNIOR, A. F. Emissão de N₂O e de CO₂ em cultivo de cana-de-açúcar em função da presença de palha sobre o solo. **Anais de Congresso in: Congresso brasileiro de ciência do solo, 2013**, Florianópolis. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 5 p, 2013.

DESHMUKH, C. **Greenhouse gas emissions (CH₄, CO₂ and N₂O) from a newly flooded hydroelectric reservoir in subtropical South Asia: The case of Nam Theun 2 Reservoir, Lao PDR**. Ocean, Atmosphere. Universit e Paul Sabatier - Toulouse III, 2013.

ENRICH-PRAST, A.; PINHO, L. Ciclo do carbono em ecossistemas aquáticos continentais brasileiros. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 03-05, 2008.

FAO (Fisheries and Aquaculture Department). The State of World Fisheries and aquaculture (SOFIA). Rome: Fisheries and Aquaculture Department, 253 p., 2016.

FARIA, F. A. M.; JARAMILLO, P.; SAWAKUCHI, H. O.; RICHEY, J. E.; BARROS, N. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Environmental Research Letters**. v. 10, p. 1-13, 2015.

FERREIRA, W. J., BRAZ, L., MARANI, L., ALVALÁ, P.C., PACKER, A. P. C., SAMPAIO, F. G. **Emissão de gases de efeito estufa na produção de pescados em tanques rede no reservatório de Furnas, MG**. Aquaciência, Foz do Iguaçu, 2014.

FRANCO, D. S.; FORSBERG, B.R. **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**. 2013. 42 f. Dissertação (Mestrado em clima e ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA, Clima e Ambiente CLIAMB). Manaus, 2013.

FREI, M.; BECKER, K. Integrated rice-fish production and methane emission under greenhouse conditions. **Agriculture, ecosystems and environment**, v. 107, p. 51-56, 2005.

GAONA, C.; POERSCH, L.H.; KRUMMENAUER, D.; FÓES, G.K.; WASIELESKY JUNIOR, W. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v.12, p.54-57, 2011.

GOODLAND, R.; ANHANG, J. (2009) **Livestock and Climate Change**. World Watch Institute. <http://www.worldwatch.org/node/6294>., December). Acesso em: 6 jul. 2015.

GREGORICH, E.G., ROCHETTE, P. VANDENBYGAART, A.J., ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in eastern Canada. **Soil Tillage Research**. v. 83, p. 53–72, 2005.

HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; KHANAL, S. K. Nitrous Oxide (N₂O) Emission from Aquaculture: A Review. **Environmental Science & Technology**. 46, 6470 – 6480. 2012.

HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; SHARMA, K.; BROTTTO, A. C.; KHANAL, KUMAR, S. Nitrogen transformations in intensive aquaculture system and its implication to climate change through nitrous oxide emission. **Bioresource Technology**. v. 130, p. 314–320, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group. I. The Physical Science Basis**. Summary for Policymakers. <<http://ipcc-wgI.ucar.edu/wgI/wgI-report.html>> 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). Glossário: CO₂ equivalente. 2013. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saibamais/glossariotermino/CO2-equivalente-CO2e-15>>. A Acesso em: 28 dez 2016.

JATOBÁ, A.; VIEIRA, F.N.; SILVA, B.C.; MOURIÑO, J.L.P.; SEIFFERT, W.Q. Influência da renovação na carga bacteriana em laboratório de camarões marinhos (*Litopenaeus vannamei*). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. v. 19, p. 77-80, 2015.

JOHNSON, J.M.F.; REICOSKY, D.C.; ALLMARAS, R.R.; SAUER, T.J.; VENTEREA, R.T.; DELL, C.J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. **Soil e Tillage Research**, v. 83, p. 73-94, 2005.

JONES, S.K., REES, R.M., SKIBA, U.M., BALL, B.C. Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121, 74–83, 2007.

KRUMMENAUER, D.; PEIXOTO, S.; CAVALLI, R.O.; POERSCH, L.; WASIELESKYJUNIOR, W. Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in Southern Brazil at different stocking densities. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.42, p.726-733, 2011.

KUMAR, B. Climate change and its impact on crop production. **Agribios news letters**, v. 10, p. 23-25, 2013.

KUMAR, B.; DEVI, T. M.; SAVITA; VERMA, S. K. Climate change: An impact on crop production. **Agribios news letters**, v.12, p. 24-26, 2013.

LAGE, J.F., BERCHIELLI, T.T., CARVALHO, I.P.C., BERNDT, A., FRIGHETTO, R., SAN VITO,E., SILVA,R.A., RIBEIRO, A. F., DELEVATTI, L. M., DALLANTONIA, E. E., SIMONETTI, L. R., REIS, R.A. **Effect Of Crude Glycerin On Methane Emissions Of Male Beef Calves Finished In Feedlot**. In: Joint Annual Meeting, 2012, Phoenix. Joint Annual Meeting, 2012.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. v.19, p.451-472, 2002.

LIMA, M.A.; PESSOA, M.C.P.Y.; LIGO, M.A.V. **Primeiro inventario brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Relatórios de referência – Emissões de metano da pecuária. Brasília, IBGE/EMBRAPA/MCT. 79p, 2002.

LIN, Y.C.; CHEN, J.C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.259, p.109-119, 2001.

LIN, Y.C.; CHEN, J.C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture**, v.224, p.193-201, 2003.

MARCELINO, A.A.; SANTOS, M.A.; XAVIER, V.L.; BEZERRA, C.S.; SILVA, C.R.O.; AMORIM, M.A.; RODRIGUES, R.P.; ROGERIO, J.P. Diffusive emission of methane and carbon dioxide from two hydropower reservoirs in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v.75, 2015.

MILLAR, N., BAGGS, E. M. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N₂O emissions after their addition to soil. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 36, p. 935-943, 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2015.

MOJEREMANE, W., REES, R.M., MENCUCCINI, M. The effects of site preparation practices on carbon dioxide methane and nitrous oxide fluxes from a peaty gley soil. **Forestry**. v. 19, p. 1-15, 2011.

NEMRY, F., THEUNIS, J., BRÉCHET, TH, LOPEZ, P. **Greenhouse gas emissions reduction and Material flows**, Final report, For the OSTC. 2001.

ORJUELA, G. L. Dinámica del Carbono en estanques de peces - Carbon dynamics in aquaculture ponds. **Orinoquia**, v. 15, p. 48-61, 2011.

OSÓRIO, R.M. L.; AZEVEDO, D. B. Percepções dos especialistas frente às mudanças climáticas: integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa sustentável à produção de alimentos, fibras e energia no agronegócio. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. p. 257-278, 2014.

PAUDEL, S. R.; CHOI, O.; KHANAL, S. K.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; LEE, J. W. Effects of temperature on nitrous oxide (N₂O) emission from intensive aquaculture system. **Science of the Total Environment**. p. 16–23, 2015.

PRETO, B. L. **Uso de aeradores e substratos no cultivo semi-intensivo do camarão-da amazônia *Macrobrachium amazonicum*: análise técnica, econômica e emissão de gases do efeito estufa**. 2012. 87 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista/UNESP, Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, 2012.

ROCHETTE, P., ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GAGNON, B.; BERTRAND, N. N₂O fluxes in soils of contrasting textures fertilized with liquid and solid dairy cattle manures. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 88, p. 175-187, 2008.

SANTANA, I. K. **Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama**. Tese (doutorado em Química em Agricultura e Meio Ambiente), 130 f. Universidade de São Paulo, centro de energia nuclear na agricultura, Piracicaba, 2016.

SANTOS, C. J. A.; SANTOS, D. L.; MENDES, P. P. Use of mathematical models for evolution of the management variables *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**. v. 2, p. 28-39, 2014.

SANTOS, M. A.; ROSA, L. P. MATVIENKO, B., SANTOS, E. O.; ROCHA, C. H. E. A., SIKAR, E.; SILVA, M. B.; B. JUNIOR, A. M. P. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 116-129, 2008.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG, **SBCS/EMBRAPA/CNPS**, v.5, p. 100, 2005.

SBRÍSSIA, R. C.; FERNANDES, C. V. S.; BRAGA, M. C. B.; SANTOS, A. F. Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios a Partir da Dinâmica da Matéria Orgânica na Coluna da Água: Estudo de Caso PCH Salto Natal, Campo Mourão — Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 16, p. 59-69, 2011.

SCHOTT, A. B. S; WENZEL, H.; JANSEN, J. C. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. **Journal of Cleaner Production**. v. 119, p. 13–24, 2016.

SILVA, M.G., ALVALÁ, P.C., MARANI, L. Analysis of the influence of environmental parameters on methane flux from floodplains and lakes in the Abobral River, Pantanal, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v.11 p.227-338, 2016.

SINGURINDY, O., MOLODOVSKAYA, M., RICHARDS, B.M., STEENHUIS, T.S. Nitrous oxide emission at low temperatures from manure-amended soils under corn (*Zea mays* L.). **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.132, p. 74–81, 2009.

SOUZA, H., VIEIRA, F. C. B., SANTOS, G. F. S., IBARR, M. A., WEBER, M. A. Inserção De *Eucalyptus saligna* em campo natural e fluxos de metano do solo em São Gabriel, RS, Brasil, **In Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. v. 5, 2013.

SUWANWAREE, P., ROBERTSON, G.P. Methane oxidation in forest, successional, and no-till agricultural ecosystems: effects of nitrogen and soil disturbance. **Soil science society of america journal**. v. 69, p. 1722-1729, 2005.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; PRETO, B.L. Measuring aquaculture sustainability. **World Aquaculture**. v. 72, p. 26-29, 2011.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; ZADJBAND, A.D. Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. **Panorama da aquicultura**, p. 8, 2010.

YANG, P.; TONG, C.; HE, Q.H.; HUANG, J.F. Diurnal variations of greenhouse gas fluxes at the water-air interface of aquaculture ponds in the Min River estuary. **Huan Jing Ke Xue**. v. 33, p. 4194-204, 2012.

ANEXO - IMAGENS DA EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS



Figura 1: Mangues remanescentes próximos as áreas de estudo



Figura 2: Áreas de manguezais localizadas no final da fazenda próximo as margens do rio



Figura 3: Povoamento (carro de transporte)



Figura 4: Povoamento (Pl's)



Figura 5: Povoamento (distribuição dos camarões no viveiro)



Figura 6: Acompanhamento do camarão nas bandejas ao longo cultivo



Figura 7: Biometria



Figura 8: Biometria



Figura 9: Alimentação dos camarões em bandejas



Figura 10: Alimentação dos camarões



Figura 11: Coleta da coluna d'água



Figura 12: Verificação dos parâmetros com medidor de multiparâmetros

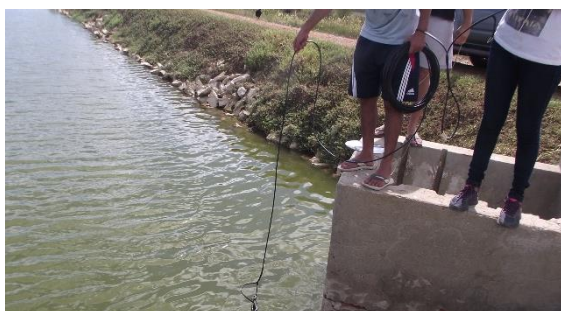


Figura 13: Verificação dos parâmetros com medidor de multiparâmetros

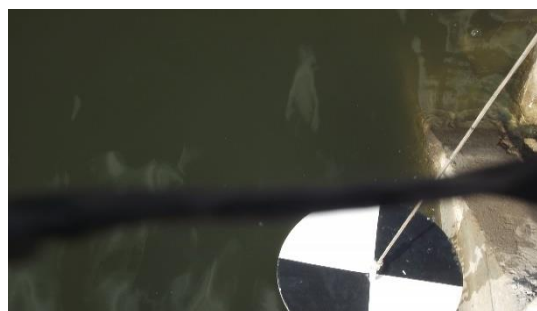


Figura 14: Verificação de parâmetros (transparência)



Figura 15: Funis de coleta ebulitiva de gases



Figura 16: Instalação dos funis nos viveiros



Figura 17: Instalação dos funis nos viveiros



Figura 18: Funis submersos após instalados



Figura 19: Câmaras de coleta de gases difusivos



Figura 20: Coleta de gases com as câmaras difusivas



Figura 21: Despesca



Figura 22: Despesca