



MUDANÇAS ESPACIAIS EM TANQUES-REDE DE TILÁPIA: INFLUÊNCIAS DA AQUICULTURA NA EMISSÃO DE METANO

Tainá Nogueira de **Almeida**¹, Marcelo Gomes da **Silva**², Viviane C. **Bettanin**³, Ana Paula **Packer**⁴

Nº 22411

RESUMO – O presente estudo visou investigar relações entre a emissão de metano (CH_4), morfometria do reservatório e características da produção de duas pisciculturas com diferentes volumes de produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). As pisciculturas localizam-se em dois tributários do reservatório de Ilha Solteira (SP/MS). Comparou-se a emissão difusiva e ebulitiva de CH_4 em áreas de produção de peixe e em áreas controle entre as duas pisciculturas; e estimou-se as mudanças da área ocupada por tanques-rede em cada tributário no período de 2016-2019. Amostras de emissão de CH_4 difusivo e ebulitivo foram coletadas a partir de câmaras estáticas e funis coletores e determinadas por cromatografia gasosa. As áreas de tanques-rede nos dois tributários foram estimadas por imagens do satélite CBERS4A. Houve diferença significativa entre a emissão difusiva na área controle do tributário de menor produção ($3,8 \pm 5,9 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e a área de tanque-rede do tributário de maior produção ($32,1 \pm 27,3 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A emissão ebulitiva foi significativamente maior nas áreas de tanque-rede comparada às áreas controle, com valores mais altos no tributário de maior produção ($3.190,4 \pm 1.892,4 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Imagens de satélite indicaram a existência de uma área de tanque-rede no tributário de maior produção desativada dois anos antes da coleta, totalizando uma área 11 vezes maior comparada à piscicultura de menor produção, antes da desativação. O aumento da emissão de CH_4 pode ter relação com o acúmulo de matéria orgânica proveniente da piscicultura no sedimento.

Palavras-chaves: Carbono, Piscicultura, Tanques-rede, Sensoriamento Remoto

¹ Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, UNICAMP, Campinas-SP; taina.almeida08@gmail.com

² Colaborador, Doutor em Geofísica Espacial;

³ Colaboradora, Graduação em Química, Técnica, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP;

⁴ Orientadora: Pesquisadora Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; paula.packer@embrapa.br



ABSTRACT – *This study aimed to investigate correlations between methane (CH₄) emission, reservoir morphometry and production characteristics of two fish farms with different production volumes of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). The fish farms are located in two tributaries of the Ilha Solteira reservoir (SP/MS). Diffusive and ebullitive CH₄ emissions in net cage areas and control areas were compared between the two fish farms. Changes in the areas occupied by net cages in both tributaries were estimated for the period of 2016-2019. Diffusive and ebullitive CH₄ emissions samples were collected with static chambers and collecting funnels and determined by gas chromatography. Net cage areas in both tributaries were estimated using CBERS4A satellite images. There was significant difference between the diffusive emission in the control area of the tributary with lowest production ($3.8 \pm 5.9 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and the net cage area of the tributary with highest production ($32.1 \pm 27.3 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). The ebullitive emission was significantly higher in the net cage areas in comparison to the control areas, with highest value in the highest production tributary ($3.190,4 \pm 1.892,4 \text{ mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Satellite images indicated the existence of a net cage area in the tributary with highest production which was deactivated two years before the collection, totaling an area 11 times larger compared to the tributary with the lowest production, before deactivation. The increase in CH₄ emission may be related to the accumulation of organic matter in the sediment from fish farming.*

Keywords: Carbon, Fish farming, Net cage, Remote Sensing

1. INTRODUÇÃO

A prática de aquicultura intensiva tem aumentado mundialmente. Entre 2010 e 2019, a aquicultura teve taxa de crescimento anual de 4,4%, chegando a representar 48% da produção de peixes no mundo em 2019 (FAO, 2021). O Brasil é um dos principais países aquicultores. Em 2019, a aquicultura brasileira foi responsável por quase 1% da aquicultura mundial (FAO, 2021). Uma das práticas que tem aumentado nas últimas décadas no Brasil é a monocultura de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanque-rede nos reservatórios de Águas da União, devido ao grande número de hidrelétricas existentes no Brasil e a água de alta qualidade (DAVID *et al.*, 2015). No entanto, estudos recentes apontam a prática de aquicultura como potencial causadora de impactos ambientais que influenciam a emissão de gases do efeito estufa (GEE), principalmente o metano (CH₄) (DA SILVA *et al.*, 2021; IPCC, 2021; YUAN *et al.*, 2019).



Um dos impactos associados à piscicultura em tanque-rede está relacionado ao aumento da entrada de matéria orgânica de alimentos não consumidos e excrementos de peixes (VAROL, 2019). A alta disponibilidade de matéria orgânica no sedimento e a estratificação do reservatório podem gerar ambientes anóxicos favoráveis a organismos metanogênicos (YUAN *et al.*, 2019; DA SILVA *et al.*, 2021). De acordo com Yuan *et al.* (2019), o metano (CH₄) tem um potencial de aquecimento global 80,8 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂) ao longo de 20 anos (IPCC, 2021) e contribui com 20% do forçamento radiativo global (CIAIS *et al.*, 2013). Portanto, as atividades de piscicultura em reservatórios estão aumentando as preocupações com os impactos das mudanças do clima.

O grau do impacto causado pela piscicultura é dependente de um número de fatores como circulação da água, morfometria do corpo d'água, extensão em área dos tanques-rede, intensidade de cultivo, quantidade e tipo de ração utilizada (BEVERIDGE, 2004). Os impactos podem ser mais aparentes, por exemplo, em locais onde o movimento da água é fraco ou onde a produção é mais intensa por favorecer a acumulação de matéria orgânica no sedimento (BEVERIDGE, 2004). Ferramentas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas para monitorar alguns dos fatores que influenciam no grau de impacto da piscicultura (BALLESTER-BERMAN *et al.*, 2018; DUAN *et al.*, 2020). A análise de imagens de satélite como ferramenta para mapear mudanças espaciais das áreas de cultivo é importante para a gestão de atividades aquícolas, e esta pode contribuir para assegurar o desenvolvimento sustentável desta atividade (DUAN *et al.*, 2020).

Considerando os possíveis impactos da piscicultura na emissão de CH₄, e os fatores que influenciam na sua intensidade, este estudo visou compreender possíveis relações entre os fluxos de emissão de CH₄, a intensidade de cultivo e a área ocupada pelos tanques-rede de duas pisciculturas. Os objetivos específicos visaram: 1) Comparar a emissão difusiva e ebulitiva de CH₄ em áreas de produção de peixe e em áreas controle; 2) Comparar a emissão de CH₄ entre os tributários de diferente intensidade de produção; 3) Estimar a área ocupada por tanques-rede em cada tributário e suas mudanças no período de 2016-2019 a partir de imagens de satélite.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no reservatório de Ilha Solteira, localizado no rio Paraná, entre São Paulo e Mato Grosso do Sul (Figura 1). O reservatório possui área de aproximadamente 375.460 km², com profundidade média de 17 m, comprimento de 70 km, e volume máximo de água de 21 km³. O estudo foi conduzido em dois tributários secundários (rios Formoso e Cancan) do reservatório de Ilha Solteira, ambos com produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede. A

produção de peixe no ano de 2019 no Formoso foi de aproximadamente 800 t de pescado/ano e no Cancan foi de aproximadamente 3.000 t de pescado/ano. Considerando o volume de produção das áreas de piscicultura, ao Formoso foi atribuída a sigla de *MenorP* e o Cancan foi denominado de *MaiorP*.

Foram realizadas três campanhas de coleta e materiais nos meses de abril, julho e setembro no ano de 2019. A amostragem em cada tributário (*MenorP* e *MaiorP*) foi realizada em dois locais: dentro da área de tanques-rede (*Tq*) e fora da área de tanques-rede como controle (*Ct*) para avaliar a emissão natural de CH₄ do tributário sem a influência do cultivo. As coletas foram realizadas em quatro áreas: cultivo na piscicultura de menor produção (*MenorP_Tq*), controle na área de menor produção (*MenorP_Ct*), cultivo na área de maior produção (*MaiorP_Tq*) e controle na área de maior produção (*MaiorP_Ct*).

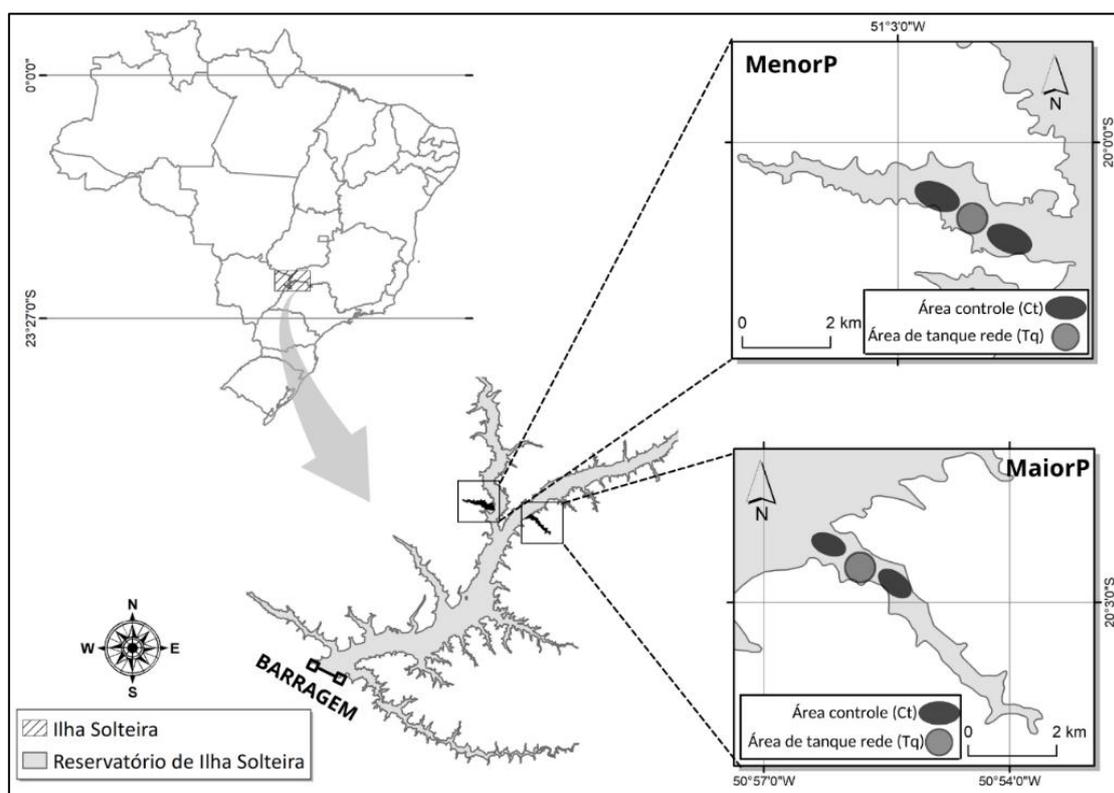


Figura 1. Mapa de localização do reservatório de Ilha Solteira, tributários com produção de tilápia do Nilo analisados (*MenorP* e *MaiorP*) e áreas de coleta de dados e materiais nos tanques-rede (*Tq*) e controle (*Ct*).

2.2 Emissão de CH₄

A emissão de CH₄ difusivo na interface água-atmosfera foi medida usando câmaras estáticas de PVC de volume interno de 1L, com proteção no fundo para evitar entrada de bolhas no interior da



câmara. Em cada local de amostragem seis câmaras foram utilizadas simultaneamente. Quatro amostras de gás foram coletadas do interior de cada câmara em intervalos de 7 min (0, 7, 14 e 21 min) com auxílio de seringas de plástico de 60 ml (IEA/HYDRO, 2012). As amostragens em cada área foram realizadas no período da manhã e repetidas no período da tarde para minimizar a influência do horário de coleta.

A emissão de CH₄ ebulitivo foi determinada usando funis invertidos equipados com uma garrafa volumétrica conectada em seu vértice para reter bolhas liberadas pelo sedimento. No período da manhã, os funis foram submersos 30 cm abaixo da superfície da água em diferentes pontos nas áreas de coleta. Após 8 horas de coleta, amostras do gás armazenado na garrafa coletora foram transferidas para vials, o volume de gás retido foi anotado para posterior utilização no cálculo de emissão e após isso os funis eram retirados da água.

As amostras de gases coletadas com as câmaras estáticas e os funis coletores foram armazenadas em *vials* LABCO Exetainer de 12 ml. A análise das amostras foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (LBA) da Embrapa Meio Ambiente em cromatógrafo gasoso equipado com um amostrador automático *Triplus RSH*, *Thermo Scientific* (CIOLA, 1985). A concentração de CH₄ nas amostras foi determinada por um detector de ionização de chama (FID, do inglês *Flame Ionization Detector*) a 250 °C. A coluna de separação Hayesep Q foi mantida a 100°C e Hélio foi utilizado como gás de arraste.

O cálculo de emissão difusiva foi feito com base na Equação 1:

$$E_D = \frac{pV M_{CH_4} \delta\chi_{CH_4}}{ART \delta t} \quad (1)$$

Onde E_D é a emissão difusiva de CH₄ (mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹), p é a pressão total (atm), V é o volume da câmara (L), M_{CH_4} é a massa molar de CH₄ (16,04 g mol⁻¹), A é a área da câmara (m²), R é a constante geral dos gases (0,082 atm L mol⁻¹ K⁻¹), T é a temperatura (K) e $\delta\chi_{CH_4}/\delta t$ é o aumento da concentração de CH₄ na câmara em função do tempo. As emissões de CH₄ difusivo foram validadas caso a correlação linear entre a mudança da razão de mistura dos gases e o tempo decorrido apresentassem R² maior que 0,9.

O cálculo dos fluxos de emissão ebulitiva foi feito com base na Equação 2:

$$E_E = \frac{p\delta\chi_{CH_4}V_{bolhas}M_{CH_4}}{ART \delta t} \quad (2)$$



Onde E_E é a emissão ebulitiva de CH_4 ($\text{mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), p é a pressão total (atm), $\delta\chi_{\text{CH}_4}$ é a concentração de CH_4 (%) na garrafa volumétrica, V_{bolhas} é o volume (L) total de bolhas na garrafa volumétrica, M_{CH_4} é a massa molar de CH_4 ($16,04 \text{ g mol}^{-1}$), A é a área do funil (m^2), R é a constante geral dos gases ($0,082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T é a temperatura (K) e δt é o tempo total de amostragem.

2.3 Análise estatística

Para comparação das médias das emissões difusivas e ebulitivas de CH_4 em cada tributário (*MenorP* e *MaiorP*), foi aplicado um teste de Kruskal-Wallis em dois cenários após a checagem da não normalidade e homocedasticidade dos dados. O primeiro cenário comparou as médias de fluxo difusivo nas áreas de controle e cultivo em *MenorP* e *MaiorP*. O segundo cenário comparou as médias de fluxo ebulitivo nas áreas de controle e cultivo em *MenorP* e *MaiorP*. Um nível de significância de $P < 0,05$ foi considerando para a análise estatística (TRIOLA, 2013).

2.4 Análise de imagens de satélite

Para a análise temporal das áreas ocupadas por tanques-rede em cada tributário foram utilizadas imagens do satélite CBERS4 com 10 m de resolução espacial, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foi selecionada uma imagem por ano entre os anos de 2016 e 2019, de modo que não apresentassem nuvens e que a turbidez dos rios fosse mínima. O intervalo de tempo (2016-2019) foi definido com base na disponibilidade de imagens do satélite, que está em operação desde 2015. Para a análise, as imagens foram recortadas para isolar a área alagada dos afluentes.

Para a delimitação das áreas ocupadas por tanques-rede, foi construída uma composição colorida RGB que ressalta os tanques-rede no reservatório a partir das bandas 2, 3 e 4 (Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo) das imagens. A composição escolhida foi: banda 3 no canal R, banda 4 no canal G e banda 2 no canal B. Dessa forma, os tanques-rede apresentaram cor predominantemente verde, por ter maior reflexão na faixa do Infravermelho Próximo em comparação com a água. A água, por ser um corpo que apresenta reflexão predominantemente na faixa da luz visível (ROBERTS *et al.*, 1995), apresentou cor predominantemente magenta como resultado da somatória das cores azul e vermelho. No entanto, em locais de turbidez alta, ocorre também reflexão na faixa do Infravermelho Próximo. Por isso a importância da seleção de imagens nas quais a turbidez da água fosse a menor possível. As composições coloridas foram construídas para cada ano entre 2016 e 2019 e para cada tributário, a partir do software ArcMap 10.8. Os tanques-rede foram delimitados sobre as composições coloridas e suas áreas foram calculadas a partir da ferramenta *Calculate Geometry* do software ArcMap 10.8.

3. RESULTADOS

Nas três campanhas realizadas foram obtidos e validados um total de 270 fluxos difusivos de CH₄ e 37 fluxos ebulitivos de CH₄ nos dois tributários (*MenorP* e *MaiorP*). A Figura 2A apresenta o *boxplot* gerado para as emissões de CH₄ difusivo. Os resultados indicaram que em ambos os tributários amostrados, a média de CH₄ difusivo na área dos tanques-rede foi maior quando comparada com a respectiva área de controle no mesmo tributário. A média de emissão difusiva para o tributário com menor produção de peixes foi de $3,8 \pm 5,9$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹ na área de controle (*MenorP_Ct*) e $13,3 \pm 17,1$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹ para a área de tanque-rede (*MenorP_Tq*). No tributário com maior produção de peixe, a média de emissão de CH₄ foi de $4,9 \pm 5,6$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹ para *MaiorP_Ct* e $32,1 \pm 27,3$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹ para *MaiorP_Tq*. Apenas *MenorP_Ct* e *MaiorP_Tq* apresentaram diferença significativa entre si. As emissões de CH₄ difusivo em *MenorP_Tq* e *MaiorP_Ct* não foram significativamente diferentes entre si.

A Figura 2B apresenta o *boxplot* gerado para as emissões de CH₄ ebulitivo. As emissões de CH₄ ebulitivo nas áreas de tanque-rede (*MenorP_Tq* e *MaiorP_Tq*) foram significativamente maiores que as emissões nas áreas de controle (*MenorP_Ct* e *MaiorP_Ct*). *MenorP_Ct* teve média de emissão de $28,7 \pm 68,1$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹, enquanto em *MaiorP_Ct* não foi observada a ocorrência de bolhas. Não houve diferença significativa entre *MenorP_Tq* ($876,7 \pm 1.149,5$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹) e *MaiorP_Tq* ($3.190,4 \pm 1.892,4$ mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹).

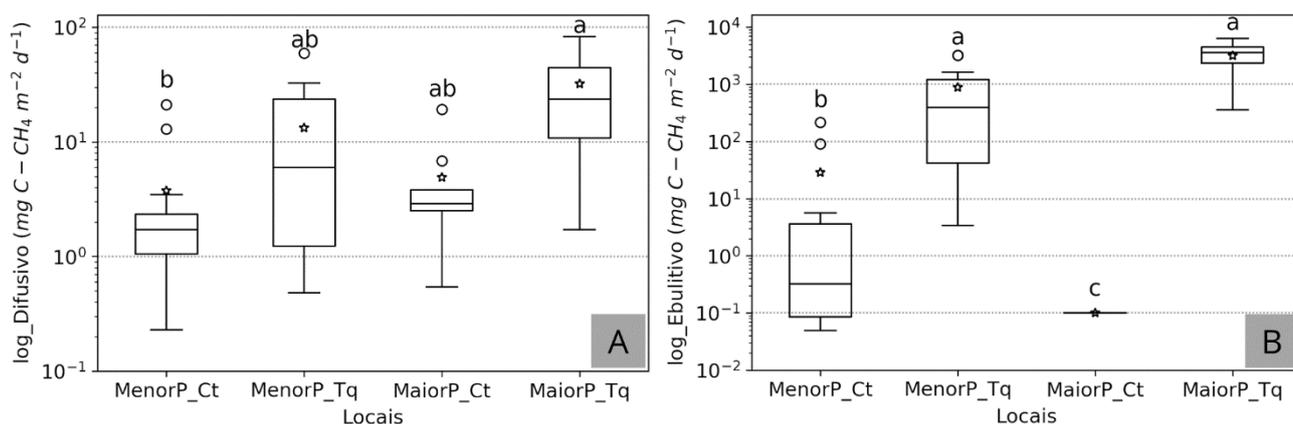


Figura 2. *Boxplot* de emissão de CH₄ difusivo (A) e ebulitivo (B). O eixo vertical está plotado em escala logarítmica (log₁₀). *MenorP_Ct*: área controle da piscicultura de menor produção; *MenorP_Tq*: área de cultivo na piscicultura de menor produção; *MaiorP_Ct*: área controle na piscicultura de maior produção; *MaiorP_Tq*: área de cultivo na piscicultura de maior produção. Médias com a mesma letra não têm diferença significativa ($P < 0,05$).



Os resultados das estimativas das áreas de tanques-rede nos dois tributários utilizando as imagens de satélite são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Variação das áreas dos tanques-rede (km²) nos tributários *MenorP* (piscicultura de menor produção) e *MaiorP* (piscicultura de maior produção) no período de 2016-2019, em Ilha Solteira (SP).

Ano	Área de tanques-rede (km ²)			
	2016	2017	2018	2019
<i>MenorP</i>	0,017	0,049	0,100	0,082
<i>MaiorP</i>	0,412	0,556	0,350	0,327

A área alagada calculada de *MenorP* foi de 5,6 km², aproximadamente o dobro da área alagada de *MaiorP* de 3,1 km². A delimitação dos tanques-rede nas pisciculturas *MenorP* e *MaiorP* indicou mudanças nas áreas de produção entre 2016 e 2019. No ano de 2016, observou-se em *MenorP* que a área de tanques-rede foi de aproximadamente 0,017 km², com pico de área total em 2018 de aproximadamente 0,100 km² e diminuição para 0,082 km² em 2019. No tributário *MaiorP*, observou-se que nos anos de 2016 e 2017 a área de tanques-rede era maior quando comparada com os anos de 2018 e 2019, havendo um pico de 0,556 km² (2017) e diminuição para 0,327 km² (2019). Comparando os dois tributários, no ano de 2016, *MaiorP* apresentou uma área total de tanques-rede aproximadamente 23 vezes maior que a área de *MenorP* no mesmo ano. Em 2019, ano em que foram realizadas as coletas, os tanques-rede de *MaiorP* ocupavam uma área aproximadamente 4 vezes maior que os tanques-rede de *MenorP*. A diminuição da diferença entre as áreas de tanques-rede dos tributários ocorre a partir do ano de 2018, quando uma área de piscicultura de aproximadamente 0,228 km² foi desativada (Figura 3).

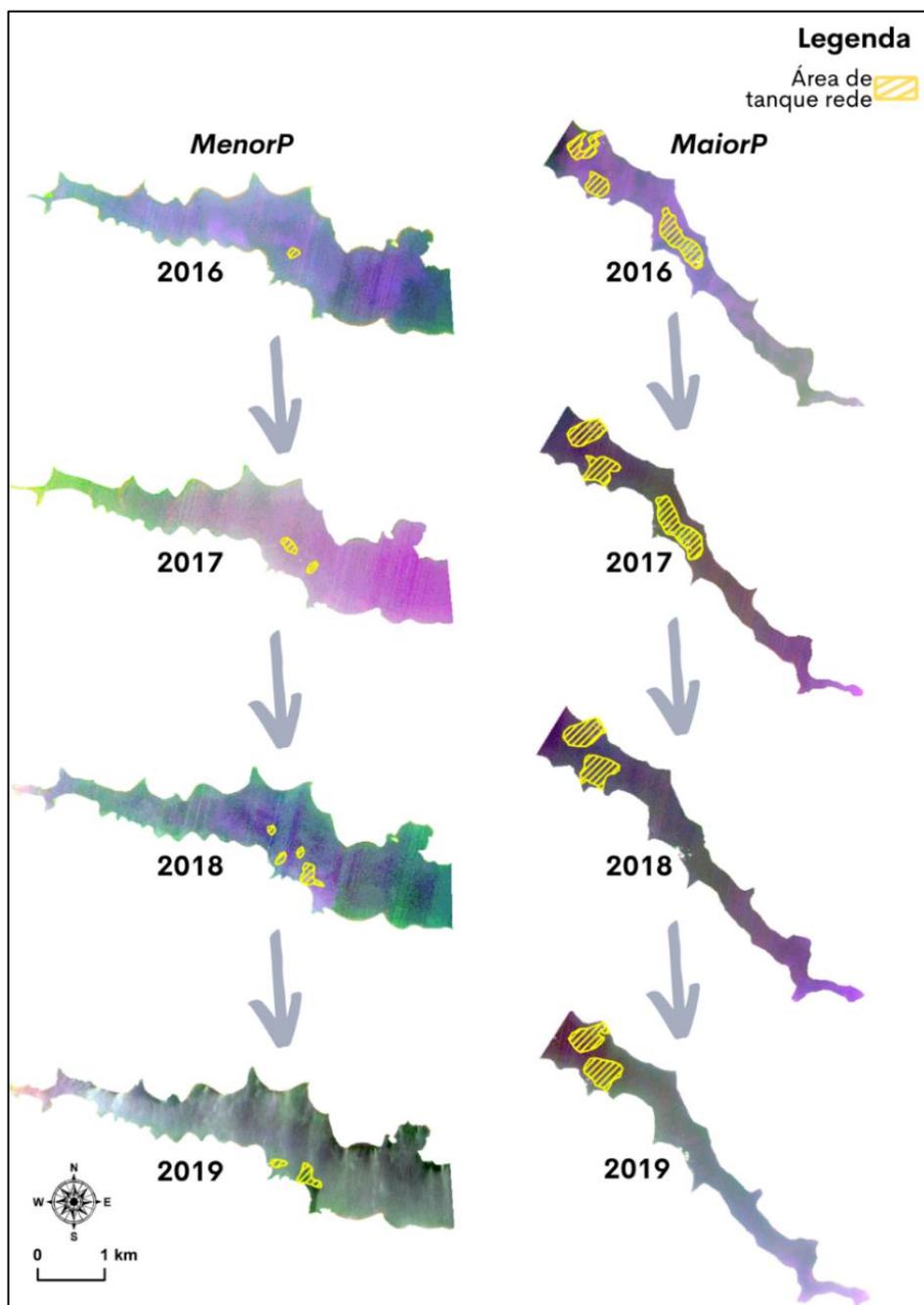


Figura 3. Evolução das áreas ocupadas por tanques-rede nos tributários *MenorP* (piscicultura de menor produção) e *MaiorP* (piscicultura de maior produção) no período de 2016-2019, em Ilha Solteira (SP).

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das coletas no reservatório de Ilha Solteira sugerem que a piscicultura em tanques-rede pode estar relacionada ao aumento da emissão de CH_4 . No caso de CH_4 difusivo, notou-se um aumento das médias de emissão dos tanques-rede quando comparados



ao controle, porém não foi significativo quando comparadas as médias de emissão nas quatro áreas. Ainda assim, *MaiorP_Tq* teve emissão significativamente maior quando comparada com *MenorP_Ct*. Essa diferença pode ser um indicativo da influência do volume de produção das pisciculturas. As emissões de CH₄ ebulitivo foram significativamente mais altas nas áreas de tanque-rede que nos controles, tanto em *MenorP* quanto em *MaiorP*.

As maiores médias de emissão difusiva e ebulitiva de CH₄ foram observadas nos locais com tanques-rede. Comparativamente, o tributário com maior área de tanques-rede teve maiores médias de emissão de CH₄ em relação ao tributário com menor área. A produção de peixes em 2019 em *MaiorP* foi aproximadamente três vezes maior quando comparada à produção em *MenorP*. Ressalta-se também que em 2019, quando foram feitas as amostragens, *MaiorP* tinha uma área de tanques-rede aproximadamente quatro vezes maior que a de *MenorP*. Este resultado sugere que a produção mais intensa em *MaiorP* acumula mais matéria orgânica no sedimento, o que pode influenciar na emissão mais alta de CH₄. Estudos anteriores relatam que a piscicultura libera na água quantidades consideráveis de ração digerida/semi-digerida ou não consumida, e excretas de peixes que foram associadas com o aumento da concentração de matéria orgânica no substrato (AGUADO-GIMÉNEZ; GARCÍA-GARCÍA, 2004; ZHU *et al.*, 2016). A alta disponibilidade de matéria orgânica pode gerar ambientes anóxicos que favorecem a atividade de organismos metanogênicos e, por consequência, podem aumentar a emissão de CH₄ em uma área (THAUER; SHIMA, 2006). Pisciculturas de cultivo mais intenso têm maior potencial para acúmulo de matéria orgânica no substrato (ALONGI *et al.*, 2009).

A utilização de imagens de satélite é uma ferramenta importante para o monitoramento de mudanças espaciais na aquicultura em tanque-rede (DUAN *et al.*, 2020). Por meio da análise da área nos dois tributários amostrados foi possível identificar a existência de tanques-rede no tributário *MaiorP* que foi desativada em período anterior às coletas realizadas no ano de 2019. A emissão difusiva de metano na área controle do tributário *MaiorP* não teve diferença significativa da área com tanques-rede do tributário *MenorP*. Com os dados disponíveis neste estudo não foi possível concluir sobre a razão pela qual a área de controle teve emissão de CH₄ semelhante à área com produção de peixes. No entanto, levanta-se a hipótese de que a área de tanque-rede desativada antes das coletas tenha influenciado em valores mais altos de emissão de CH₄ em áreas de controle. Mais estudos são necessários para avaliar se a produção de peixes em um tributário poderia ter influência na emissão de CH₄ em anos posteriores à sua desativação. A avaliação do impacto da piscicultura em um corpo d'água é algo complexo devido à grande quantidade de variáveis físicas e químicas que podem influenciar os processos de produção e consumo de CH₄ no sedimento e na coluna



d'água (BEVERIDGE, 2004; ALONGI *et al.*, 2009; DEEMER *et al.*, 2016). Com os dados levantados para a realização deste estudo não foi possível avaliar o impacto que uma piscicultura pode exercer em um tributário e o tempo necessário para que o meio dissipe as alterações provocadas pelo cultivo de peixes.

Outro fator importante a ser considerado é sobre as características morfométricas dos tributários. O tributário com maior produção de peixe é mais estreito e com menor área alagada quando comparado ao tributário com menor produção de peixe. Ressalta-se que, em 2017, a área ocupada por tanques-rede em *MaiorP* chegou a ser mais de onze vezes maior que a área de *MenorP* no mesmo ano, enquanto a área alagada de *MenorP* foi aproximadamente o dobro da área alagada de *MaiorP*. De acordo com Beveridge (2004), os impactos da piscicultura são mais intensos em corpos d'água mais fechados com menor circulação de água. Apesar de *MenorP* apresentar uma área alagada maior, não é possível afirmar sobre a circulação de água do tributário a partir dos resultados obtidos. Sugere-se a continuidade dos estudos sobre influências da piscicultura na emissão de gases do efeito estufa para estratégias de mitigação e regulamentação para práticas mais sustentáveis.

5. CONCLUSÃO

A partir dos cálculos de emissão de CH₄ e da análise da distribuição espacial das pisciculturas, observou-se que há um aumento de aproximadamente seis vezes na emissão difusiva e trezentas vezes maior na emissão ebulitiva de CH₄ em áreas de tanque-rede em comparação com áreas controle. Observou-se, ainda, que o tributário de maior produção de peixe e que ocupa uma área maior de tanques-rede teve maior emissão de CH₄. O aumento da emissão de CH₄ pode ter relação com o acúmulo de matéria orgânica no sedimento do reservatório, proveniente de restos de ração e excretas dos peixes que acumulam no fundo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Embrapa Meio Ambiente por financiar o presente projeto e a bolsa PIBIC. Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte do banco de dados constituído pelo Projeto Ações Estruturantes e Inovação para o Fortalecimento das Cadeias Produtivas da Aquicultura no Brasil (BRS AQUA), financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Embrapa e Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP/MAPA).



7. REFERÊNCIAS

- AGUADO-GIMÉNEZ, F.; GARCÍA-GARCÍA, B. Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: A pilot study. **Aquaculture**, v. 242, n. 1–4, p. 283–295, 2004.
- ALONGI, D. M. *et al.* The fate of organic matter derived from small-scale fish cage aquaculture in coastal waters of Sulawesi and Sumatra, Indonesia. **Aquaculture**, v. 295, n. 1–2, p. 60–75, 2009.
- BALLESTER-BERMAN, J. D.; SANCHEZ-JEREZ, P.; MARINO, A. Detection os aquaculture structures using Sentinel-1 data. *In*: EUSAR 2018; EUROPEAN CONFERENCE ON SYNTHETIC APERTURE RADAR, 12th, 2018, [Proceedings ...]. 2018.
- BEVERIDGE, M. C. M. **Cage Aquaculture Third Edition**. 3. ed. Oxford: Blackwell, 2004. 380 p.
- CIAIS, P. *et al.* Carbon and other biogeochemical cycles. *In*: Climate Change 2013. **The physical science basis: contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. p. 465–570. 2013.
- CIOLA, R. **Fundamentos da cromatografia a gás**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1985. 453 p.
- DA SILVA, M. G. *et al.* Increase of methane emission linked to net cage fish farms in a tropical reservoir. **Environmental Challenges**, v. 5, n. July, p. 100287, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100287>.
- DAVID, G. S. *et al.* Ecological carrying capacity for intensive tilapia (*Oreochromis niloticus*) cage aquaculture in a large hydroelectrical reservoir in Southeastern Brazil. **Aquacultural Engineering**, v. 66, p. 30–40, 2015.
- DEEMER, B. R. *et al.* Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A new global synthesis. **BioScience**, v. 66, n. 11, p. 949–964, 2016.
- DUAN, Y. *et al.* Detecting spatiotemporal changes of large-scale aquaculture ponds regions over 1988–2018 in Jiangsu Province, China using Google Earth Engine. **Ocean and Coastal Management**, v. 188, 15 abr. 2020.
- FAO. **FAO yearbook: fishery and aquaculture statistics 2019**. Roma: FAO, 2021. 82 p.
- IEA/HYDRO. **Guidelines for quantitative analysis of net GHG emissions from reservoirs: volume 1 e measurement programs and data analysis, international energy agency e implementing agreement for hydropower technologies and programs**. 2012. Annex XII- Hydropower and the Environment, Task 1: Managing the Carbon Balance in Freshwater Reservoirs. p. 80.
- IPCC. Framing, context, and methods. *In*: WORKING GROUP III. contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. David Frame, 2021. p. 147–286.
- ROBERTS, A.; KIRMAN, C.; LESACK, L. Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 13, p. 2439–2455, 1995.
- THAUER, R.; SHIMA, S. Biogeochemistry: Methane and microbes. **Nature**, v. 440, p. 878–879, 2006.
- TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2013.
- VAROL, M. Impacts of cage fish farms in a large reservoir on water and sediment chemistry. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 1448–1454, 2019.
- YUAN, J. *et al.* Rapid growth in greenhouse gas emissions from the adoption of industrial-scale aquaculture. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 4, p. 318–322, 2019.
- ZHU, L. *et al.* Greenhouse gas emissions and comprehensive greenhouse effect potential of *Megalobrama amblycephala* culture pond ecosystems in a 3-month growing season. **Aquaculture International**, v. 24, n. 4, p. 893–902, 2016.