



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA

JÉSSICA DA SILVA SÁ

Santarém-PA
Junho, 2017

JÉSSICA DA SILVA SÁ

FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA

ORIENTADOR: DR. RODRIGO DA SILVA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, junto ao Programa de Pós – Graduação *Stricto Senso* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos.

Santarém-PA
Junho, 2017

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha humilde família, que me ampara sob todas as formas e deposita em mim toda sua confiança.

EPIGRAFE

“... Uma das condições fundamentais é tornar possível o que parece não ser possível. A gente tem que lutar para tornar possível o que ainda não é possível. Isso faz parte da tarefa histórica de redesenhar e reconstruir o mundo.”

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca me abandonar e sempre ouvir os clamores que faço.

Agradeço por ele ser o Deus maravilhoso e misericordioso em minha vida e na vida de minha família.

Em especial à minha querida e amada mãe, Izabel Maciel da Silva Sá, que me ampara sob todas as formas, desde os meus primeiros passos no estudo e que sempre acreditou em mim. Uma mãe guerreira, batalhadora que tirava o “pão da boca” para dar aos seus nove filhos, enfrentou grandes dificuldades para criar meus irmãos e eu, enquanto meu pai viajava a trabalho. Ao meu pai Manoel Monteiro de Sá, por ser esta pessoa maravilhosa que acreditou em mim e que nunca colocou dificuldades em meu estudo.

Aos meus irmãos por aguentar minhas chatices, e por me apoiarem.

Ao meu orientador o professor Dr. Rodrigo da Silva por ter confiado em mim na realização deste trabalho, pela atenção, compreensão durante essa jornada.

Por fim, agradeço aos amigos do LABpada, e em grande agradecimento ao meu amigo Kleber Campos que contribuiu na realização deste trabalho e aqueles que contribuíram de alguma forma.

À todos o meu MUITO OBRIGADA pela parceria nesta jornada.

SILVA SÁ, Jéssica da. **FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA**. 2017. 48 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2017.

RESUMO

A construção de usinas hidrelétricas para geração de energia foi considerada por muito tempo uma forma de produção limpa, no entanto no final do século passado alguns estudos mostraram que os reservatórios poderiam ser emissores potenciais de Gases de Efeito Estufa (GEE). A região norte do Brasil onde esta localizada a Amazônia é considerado um grande produtor de energia devido a grande quantidade de rios localizados nesta região com potencial para criação de hidrelétricas por um lado muito importante para a economia do país, mas na questão ambiental seria um problema. Os alagamentos e lagos criado pelo represamento das aguas são responsáveis pelas taxas de atividade bacteriana e produção de GEE devido à biomassa inundada e decomposta nos primeiros anos, assim os níveis baixos de oxigênio nas camadas profundas próximas ao sedimento favorecem a geração de metano. O aumento do nível da água faz com que sejam alagadas áreas que antes estavam emersas, com isso ocorre à liberação de nutrientes e a consequente produção de CO₂ e CH₄. O presente trabalho tem por abordagem investigar o fluxo de CO₂ associadas à emissão de gases de efeito estufa em um reservatório na hidrelétrica de Curua-Una, inclinando a sua importância em relação às alterações do efeito estufa natural e as mudanças climáticas na Amazônia. Usou-se como referência as condições da área represada para realizar as medidas de fluxos, usando uma câmara flutuante estática para obter os dados necessário para análise e estudo. Sabendo que as emissões de reservatórios variam amplamente com a localização geográfica, tipo de vegetação do entorno do reservatório, temperatura, sazonalidade, tamanho e profundidade do reservatório o estudo foi importante para determinar a contribuição dos GEE emitidos pelo reservatório de Curua-Una.

Palavras chaves: Hidrelétricas, Fluxo de CO₂, Emissão.

SILVA SÁ, Jéssica da. **FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA**. 2017. 48 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2017.

ABSTRACT

The construction of hydroelectric plants for power generation has long been considered a clean form of production; however at the end of the last century some studies have shown that reservoirs could be potential emitters of Greenhouse Gases GEE. The northern region of Brazil where the Amazon is located is considered a major energy producer due to the large number of rivers located in this region with potential for the creation of hydroelectric plants on the one hand very important for the country's economy, but on the environmental issue would be a problem. The floods and lakes created by water damming are responsible for bacterial activity rates and GEE production due to flooded and decomposed biomass in the early years, so low oxygen levels in the deep layers near the sediment favor methane generation. The increase in the water level causes areas to be flooded that were previously emerged, which leads to the release of nutrients and the consequent production of CO₂ and CH₄. The objective of the present work is to investigate the CO₂ flux associated with the emission of greenhouse gases in a reservoir in the Curua-Una hydroelectric dam, which is related to the changes in the natural greenhouse effect and climate change in the Amazon. The conditions of the dammed area were used as a reference to carry out flow measurements using a static floating chamber to obtain the data necessary for analysis and study. Knowing that the emissions of reservoirs vary widely with the geographic location, type of vegetation around the reservoir, temperature, seasonality, size and depth of the reservoir the study was important to determine the contribution of GEE emitted by the reservoir of Curua-Una.

Key words: Hydroelectric, CO₂ flow, Emission.

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO – 1	11
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1.Efeito Estufa	14
1.2. Aquecimento Global	17
1.3. Ciclo do Carbono.....	18
1.4. Fluxo de CO ₂ na interface água atmosfera	22
1.5. Emissão de GEE em Hidrelétricas na Floresta tropical Amazônica	23
1.6. Fontes de emissão de CO ₂	27
2. JUSTIFICATIVA	29
3. OBJETIVOS	30
3.1 Objetivo geral	30
3.2 Objetivos específicos	30
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	31
CAPÍTULO – 2	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1. Descrição da área de estudo	37
2. 2. A câmara flutuante	39
2.4. Análise dos dados	44
3. RESULTADOS	45
4. DISCURSSÃO	46

5. REFERENCIAS	48
-----------------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Efeito estufa.	17
Figura 02	Ciclo do Carbono	19
Figura 03	Estrutura de um Reservatório	21
Figura 04	Diagrama da troca gasosa entre água e ar	23
Figura 05	Circulação de CO ₂ e CH ₄ em esquema de uma represa.	25
Figura 06	Efeito estufa e o consumo de energia na emissão de CO ₂	28
Figura 07	Foto esquemática da área da Usina Hidrelétrica de Curua-Uma	38
Figura 08	Tipo de vegetação na represa do Curua-Uma	39
Figura 09	Câmara flutuante	40
Figura 10	Analisador de gás (LICOR-820)	41
Figura 11	Esquema do funcionamento interno do LICOR-820	42
Figura 12	Funcionamento interno da conexões com a câmara flutuante	42
Figura 13	Sonda multiparamétrica e anemômetro	44

1. INTRODUÇÃO GERAL

As Hidrelétricas tem sido a principal fonte de geração de energia do sistema elétrico brasileiro por décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético no Brasil, principalmente na região norte onde os recursos hídricos são superiores aos demais estados brasileiros. Na Amazônia pode-se destacar o Rio Tapajós com importância energética e fluvial para o estado do Pará. Este rio nasce na fronteira do Pará com o Mato Grosso e é o produto da junção de dois Rios: o Juruena e o Teles Pires. Na foz do Tapajós ocorre o encontro de suas águas claras com as águas brancas do Rio Amazonas na frente da cidade de Santarém. Sua extensão é de aproximadamente 1.992 km, com uma vazão de 13.500 m³/s (AMAZÔNIA WORD, 2014).

Neste rio está destinado a ser implementado o Complexo Tapajós que é um sistema elétrico composto por cinco Usinas a ser construída, o que comprova a importância deste rio para o setor elétrico. No estado do Pará existem três Usinas em funcionamento: Tucuruí, Curua-Una e a mais recente inaugurada Belo Monte (<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/para/>). Trata-se de uma tecnologia confiável e tida como fonte de energia renovável, no entanto a maior preocupação é com as emissões de gases de efeito estufa devido ao impacto ambiental causado pelos danos ambientais como consequência dessas construções.

A construção de Usinas Hidrelétricas gera acumulação de água devido aos reservatórios, ou seja, gera grandes áreas alagadas que é uma modificação nos ecossistemas. A alteração nesses sistemas tem sido motivo de estudos para os possíveis impactos ambientais causados pela emissão de gases de efeito estufa que podem contribuir para o balanço do carbono atmosférico. (SANTOS, 2000). A retomada da expansão das Hidrelétricas como, por exemplo, o complexo Tapajós pode criar uma alerta com as emissões desses gases que impactam o clima no planeta.

Vários estudos já foram feitos e outros estão em andamento para explicar, compreender e dar uma resposta para a participação de represas quanto à emissão e gases do efeito estufa. Alguns estudos já comprovaram que Hidrelétricas produzem quantidades consideradas de metano, gás carbônico e óxido nitroso que são gases que provocam o chamado efeito estufa. Em alguns casos Hidrelétricas podem emitir mais poluentes do que as próprias termelétricas movidas a carvão

mineral ou gás natural (KEMENES, 2006). Três fatores são responsáveis para a emissão desses gases: decomposição da vegetação preexistente, ou seja, as árvores atingidas pela inundação de áreas usadas nas construções de reservatórios; a ação de algas primárias que emitem CO_2 no lagos das Usinas e o acúmulo nas barragens de nutrientes orgânicos trazidos por rios e pela chuva. (SANTOS, 2000).

Segundo Santos (2000), a emissão de carbono e de metano não acaba com a decomposição total da vegetação preexistente, a uma renovação constante na produção desses gases devido à chegada de novas matérias orgânicas trazidos pela chuva ou pelos rios, que posteriormente são decomposto pelas águas primárias. A duas formas de produção de gases em Hidrelétricas que podem acontecer, por meio de difusão ou por bolhas, emissões de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), são determinadas através de medidas de taxas de emissão de bolhas que emanam do fundo do lago por efeito de sua saturação e que são transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão molecular. (SANTOS, 2000).

A difusão molecular é um fenômeno de transporte de matéria onde um soluto é transportado devido aos movimentos das moléculas de um fluido (líquido ou gás), pelo movimento térmico de todas as partículas a temperaturas acima do zero absoluto. Os reservatórios por ser um meio aeróbico com maior presença de oxigênio, as bactérias decompõe a matéria orgânica e emite gás carbônico que se difundi pela água (MELLO, 2015). Assim como rios e lagos naturais, os reservatórios das Hidrelétricas podem contribuir para o aumento da temperatura média do planeta, desde de que as quantidades emitidas sejam significativas, a contribuição de CO_2 e CH_4 para o aquecimento do planeta possuem o poder de bloquear o calor transmitido da terra para a atmosfera pelo simples fato de ser potenciais redentor de calor, sendo que o CH_4 , possui um elevado poder de aquecimento maior do que o CO_2 (MELLO, 2015).

Sabe-se que a principal fonte de emissão desses gases nos reservatórios Hidrelétricos é a decomposição bacteriana da biomassa, (SANTOS, 2000), mas também essas emissões podem depender de diversos outros fatores como quantidade de biomassa submersa, temperatura média do local, profundidade média, radiação solar média, parâmetros físico-químicos da água e o ciclo hidrológico regional. Para este estudo de emissão de CO_2 proveniente de lagos de hidrelétricas foi escolhido a Hidrelétrica de Curua-Una que está localizado no rio com

mesmo nome, para estimar o fluxo de CO₂ na água através do método de câmara flutuante. A Hidrelétrica de Curua-Una é um exemplo de empreendimento de geração de energia de pequeno porte, que está localizado na microrregião de Santarém, região Oeste do Pará, com área aproximada de 4055 km². (Fearnside 2005).

As Hidrelétricas por serem vistas como fontes de energia renováveis parecem ser o melhor meio de combater as emissões de gases poluentes, porém pesquisas realizadas em alguns reservatórios de Hidrelétricas mostraram através de medidas realizadas que os resultados de emissões de GEE foram significativos, transformando-se em vilões do aquecimento global. De acordo com essas informações a hidrelétrica de Balbina, no rio Uatumã está emitindo aproximadamente 10 vezes mais que uma termoelétrica movida a carvão mineral, considerado hoje o combustível mais poluente (KEMENES, 2006). Com essas informações podemos justificar a pesquisa em relação à demanda de CO₂ emitido pelo reservatório da usina hidrelétrica de Curua-Una.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Efeito estufa

É um sistema natural do planeta Terra que possibilita a manutenção da temperatura média de aproximadamente 15°C, o que torna ideal para o equilíbrio das formas de vida em nosso planeta. Sem o efeito estufa natural, o planeta Terra poderia ter uma temperatura tão baixa que ficaria inviabilizado o desenvolvimento das espécies animais e vegetais. Isso ocorreria, pois a radiação solar refletida pela Terra se perderia totalmente. O aprisionamento de parte do calor gerado pelos raios solares na atmosfera terrestre tem como objetivo manter o planeta na temperatura ideal para garantir a existência da vida.

O equilíbrio entre a radiação solar e o efeito estufa provocam as flutuações climáticas. A radiação proveniente do sol que chega à Terra teve um aumento de aproximadamente 25% até hoje, portanto, no início, a Terra recebia menos energia em comparação com o hoje, o que tornava-a mais fria, e também a concentração de CO₂ na atmosfera ajudava neste processo (WILSON, TEXEIRA. et al 2009).

Apesar de ser algo vital para todos estes sistemas está passando por uma alteração, levando a que pode ser chamado de desequilíbrio do efeito estufa natural e seu resultado exponencialmente agravado quando a presença de grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) que absorvem parte desse calor, for muito maior do que o normal. A maioria das fontes de energia que liberam GEE (petróleo, carvão, gás natural, madeira) libera o carbono de volta para atmosfera, contribuindo para a formação do CO₂. Este é, dentre os gases citados, o maior responsável pela intensificação do aquecimento.

O vapor d'água, que apresenta uma quantidade variável na atmosfera na ordem de 1% em volume, apesar de seu volume relativamente pequeno, é um dos gases mais importantes dos componentes do ar, é o grande responsável pelo efeito estufa natural (cerca de 65%) e o aumento na concentração dos gases de efeito estufa, como CO₂, o CH₄ e o N₂O são responsáveis pela amplificação do efeito estufa natural já existente (SAEFL, 1997). O Fluxo de chuva que cai nas florestas, bem como a evapotranspiração, tem papel de destaque no ciclo da água juntamente

com a evaporação de rios e oceanos essencial para a manutenção da vida no planeta.

Outros gases presentes na atmosfera mais em quantidades menores têm participação direta no efeito estufa, metano, óxido nitroso e óxidos de nitrogênio. O metano tem poder de reter calor muito maior que o CO₂, isso o torna um gás extremamente perigoso se aumentado sua concentração na atmosfera. Os principais mecanismos de liberação do CO₂ em grandes quantidades são as chamadas ações antropogênicas (OLIVEIRA, 2008), ou seja, são causadas por ações humanas, as queimadas e as derrubadas de florestas influenciam diretamente nesse desequilíbrio, ambas as situações provocam a liberação do CO₂ acumulado em forma de biomassa, liberando mais gases, a queima da madeira e a redução da floresta provoca o desequilíbrio de absorção e de estoque de carbono, sendo que um dos principais absorvedores e acumuladores de CO₂ são as florestas que retiram esse gás da atmosfera.

O aumento dos GEE causado pela derrubada de florestas e pela queimada das mesmas, pode causar um desequilíbrio de todo o sistema terrestre, o desmatamento e a degradação da floresta, principalmente as florestas tropicais foram os principais responsáveis pelas emissões de GEE na década de 90 e 2000 de acordo com Saatchi et. al, (2011). As florestas são as principais reguladoras do clima local e talvez até global. Na Amazônia a floresta tropical é o principal regulador do clima, gerando chuvas a nível local, regional e nacional, pois várias regiões do Brasil dependem da quantidade de chuva produzida pela floresta amazônica. A alteração desse ciclo pode causar mudança na temperatura, diminuir ou aumentar níveis de chuvas em diversas regiões incluindo na própria Amazônia. Isso pode estar acontecendo atualmente com a diminuição das florestas pelo mundo e o alto nível de GEE, a temperatura terrestre tem mostrado um aumento significativo e esse aumento tem influência direta do efeito estufa alterado.

Há outro fator importante, a emissão de gases poluente vem ocorrendo desde a revolução industrial, o crescente volume de dióxido de carbono emitido pelas fábricas da Revolução Industrial estaria alterando a composição da atmosfera pelo aumento da concentração de GEE e que isso poderia causar o aquecimento da superfície terrestre (CORDEIRO, 2008), provavelmente o desequilíbrio climático vem ocorrendo desde a época da descoberta de novas fontes de energia com

lançamento de gases poluentes na atmosfera, principalmente os que resultam da queima de combustíveis fósseis liberam diretamente na atmosfera. A queima do óleo diesel e da gasolina nos grandes centros urbanos tem colaborado para o efeito estufa. O CO_2 , C , CH_4 ou SO_2 ficam concentrados em determinadas regiões da atmosfera formando uma camada que bloqueia a dissipação do calor. Esta camada de gases poluentes, tão visível nas grandes cidades, funciona como um isolante térmico do planeta Terra. O calor fica retido nas camadas mais baixas da atmosfera trazendo graves problemas ao planeta.

Pesquisadores do meio ambiente já estão prevendo os problemas futuros que poderão atingir nosso planeta caso esta situação persista, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), divulgou previsões futuras da temperatura global segundo os vários cenários. Muitos ecossistemas poderão ser atingidos e espécies vegetais e animais poderão ser extintos. Derretimento de geleiras e alagamento de ilhas e regiões litorâneas. Estas alterações climáticas poderão influenciar negativamente na produção agrícola de vários países, reduzindo a quantidade de alimentos em nosso planeta. A elevação da temperatura nos mares poderia ocasionar o desvio de curso de correntes marítimas, ocasionando a extinção de vários animais marinhos e diminuir a quantidade de peixes nos mares.

A figura abaixo mostra uma representação esquemática do efeito estufa.



Figura 1: Efeito estufa. Fonte: <http://www.rudzerhost.com/ambiente/images/efeitoestufa2.gif>

1.2. Aquecimento global

As definições de aquecimento global provem das variações do clima em escala global devido o aumento da temperatura do planeta em função do alto nível dos gases do efeito estufa, estas variações estão relacionadas diretamente com a temperatura, precipitação e umidade do ar. Tais mudanças são provocadas atualmente pela ação antropogênica, ou seja, por ações humanas, que tem grande influência no equilíbrio natural do planeta. O debate sobre as transformações que venham ocorrendo no planeta sugere que o aquecimento do planeta pode alterar o cenário natural devido o desequilíbrio do sistema climático, acarretando em secas severas e derretimentos das geleiras assim como o aumento do nível dos oceanos. Essas mudanças no clima são decorrentes do aumento da concentração dos GEE.

Segundo (HAMADA, 2012) o quarto relatório de painel intergovernamental de mudança climática (IPCC), lançado em 2007, destaca os fatores que causam as alterações no clima. Sendo provável que o aumento observado nas temperaturas médias globais, seja decorrente das concentrações de GEE. O estudo aponta também o surgimento de desertos, savanização das florestas tropicais e o aumento de catástrofes naturais.

Com o planeta mais quente, alguns fenômenos do clima se tornam mais frequentes e rigorosos, tais como os furacões e tempestades tropicais causadas pelo aumento na temperatura das águas oceânicas. O desequilíbrio do clima pode ser responsável por eventos climáticos ocorridos em regiões onde não é normal a ocorrência de fenômenos que não são típicos da região. Em 2004, o Estado de Santa Catarina foi cenário do primeiro furacão ocorrido na história do Oceano Atlântico Sul, conhecido como Catarina. Logo em seguida, em 2005, em Nova Orleans, nos Estados Unidos, um novo furacão com ventos em velocidade superior a 200 quilômetros por hora devastou grande parte da costa norte americana (MARENGO, 2006).

No território amazônico, as consequências do aquecimento do planeta incluem secas, cheias e incêndios mais intensos, ocasionando riscos cada vez maiores para a biodiversidade. Devido a esses fatores os efeitos do aquecimento global podem ser devastadores para a floresta amazônica. Secas e tempestades, cada vez mais frequentes, têm matado árvores deixando a amostra à vulnerabilidade da floresta (LIERATO, 2009). No ano de 2005 foi tragicamente marcante para a

Amazônia uma anomalia potencializada pelo aquecimento das temperaturas da superfície do Oceano Atlântico Norte tropical (Marengo et al. 2008; Cox et al. 2008), causou impactos alarmantes na floresta.

1.3. Ciclo do Carbono

O quinto elemento mais abundante no planeta, carbono (C) possui necessariamente duas formas, uma orgânica, existente nos organismos vivos e mortos, e outra inorgânica, presente nas rochas e aproximadamente 99% desse carbono estão na litosfera, a maior parte sob a forma inorgânica, armazenada em rochas sedimentares em depósitos de combustíveis fósseis.

Estudar o ciclo do carbono é essencial para entender os procedimentos reguladores e o tempo de permanência do CO_2 atmosférico, portanto, as concentrações que regulam o efeito estufa (CALDEIRA, 2005). O ciclo tem início a partir dos processos fisiológicos das plantas e outros organismos autótrofos quando absorvem o carbono da atmosfera para a realização da fotossíntese, ao final desse processo o carbono é devolvido ao ecossistema na mesma velocidade em que é sintetizado pelos produtores, isto ocorre durante a respiração, assim uma das partes deste ciclo entra novamente no sistema atmosférico os quais se encontram em permanente processo interativo entre a biosfera e atmosfera (CONTI, 2001).

A figura 2 mostra o percurso do carbono em todo o sistema.

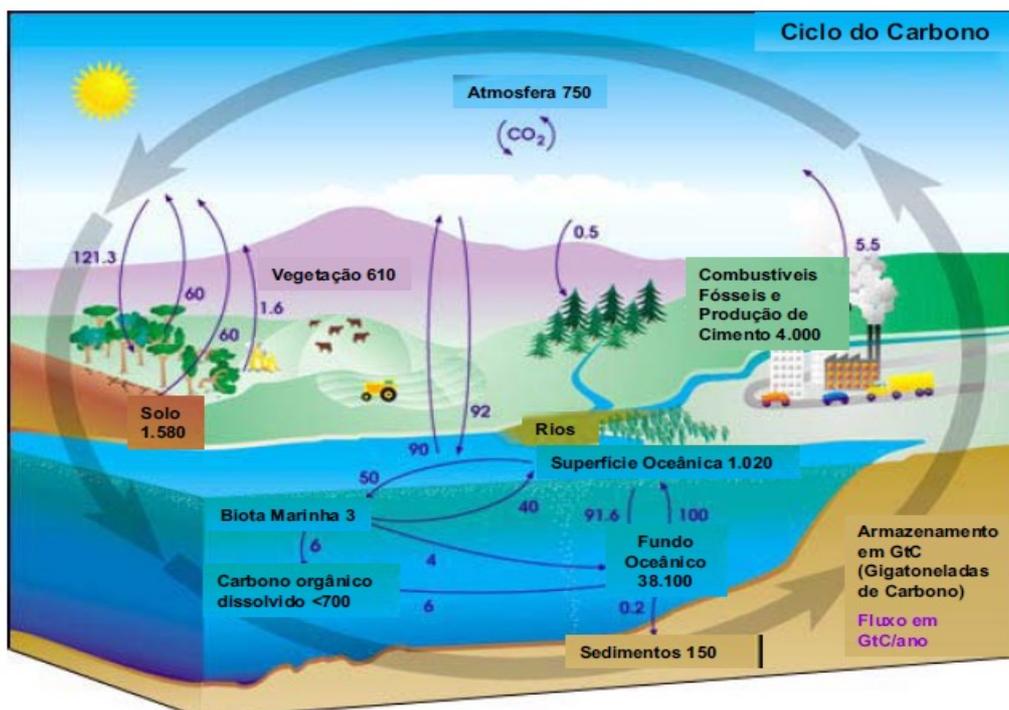
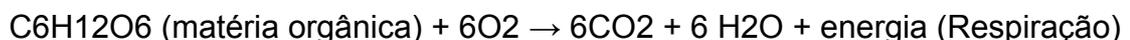
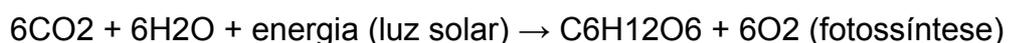


Figura 2: Ciclo do Carbono. Fonte: Alessi, 2010.

O carbono está presente na atmosfera como CO₂, dissolvido na água superficial, oceanos e rios e água subterrânea, esta presente nos solos e florestas. Todos os ecossistemas aquáticos desempenham um papel importante na taxa global de carbono, ainda que seja com pequena contribuição em termos de área (COLE et al., 2007). A fixação do carbono em ambientes aquáticos acontece por meio de distintas fontes, que podem ser por meio natural ou ação antropogênica, respectivamente poluição de matéria orgânica, metabolismo e morte de plantas e de organismos aquáticos, dissolução de carbono atmosférico e escoamento superficial da bacia de drenagem (IHA, 2010).

No ciclo biológico do Carbono, pode-se ocorrer a total renovação do carbono atmosférico em até vinte anos, é um ciclo considerado rápido se comparado com os ciclos geológicos. Na medida em que as plantas absorvem a energia solar e CO₂ da atmosfera, ocorre à liberação de oxigênio e sintetização de açúcares, como a glicose, é nesse ponto que acontece a fotossíntese, que é o alicerce para o crescimento das plantas. Já os animais e as plantas que assimilam a glicose durante o processo de respiração, emitem novamente CO₂, assim a fotossíntese e a decomposição orgânica, por meio da respiração, renovam o carbono da atmosfera, esses processos são determinados pela seguinte equação química:



Assim a liberação da energia acontece por meio da respiração, na qual os organismos heterótrofos consomem parte da energia através da quebra dos carboidratos disponibilizada pelos autótrofos para suprir suas necessidades vitais (SPIRO; STIGLIANI, 2003). Com isso, a fotossíntese e a respiração, conduzem o carbono de sua fase inorgânica à fase orgânica e de volta a fase inorgânica, concluindo o ciclo biogeoquímico. Também faz parte do ciclo biológico a remoção de grande parte do carbono da atmosfera excedendo os limites da respiração, quando a

matéria orgânica acumula-se em depósitos sedimentares que se decompõem em combustíveis fósseis.

Atualmente a capacidade de acelerar ciclo rápido do carbono tem sido a adição de CO₂ na atmosfera, através de incêndios, sejam eles naturais ou provocados por ação humana, com isso ocorre a queima da biomassa e matéria orgânica, transferindo mais CO₂ num ritmo maior do que aquele que remove naturalmente o Carbono a partir da sedimentação do mesmo. Esse processo causa o aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ rapidamente.

As emissões de CO₂ em reservatórios de represas contribuem efetivamente para o ciclo global do carbono, devido a decomposição de material orgânico e a sedimentação. Assim muitas pesquisas têm sido realizadas para entender a complexidade dos processos biogeoquímicos e físicos responsáveis pelas emissões de CO₂ que é um dos principais GEE em reservatórios embora sejam espacialmente heterogêneos (ROLAND et al., 2010), a maioria dos estudos de emissões de GEE estimam em um único ponto, geralmente perto da barragem (PACHECO, 2014).

A figura 3 mostra como ocorre a contribuição dos GEE em áreas represadas e seu papel decorrente no ciclo.

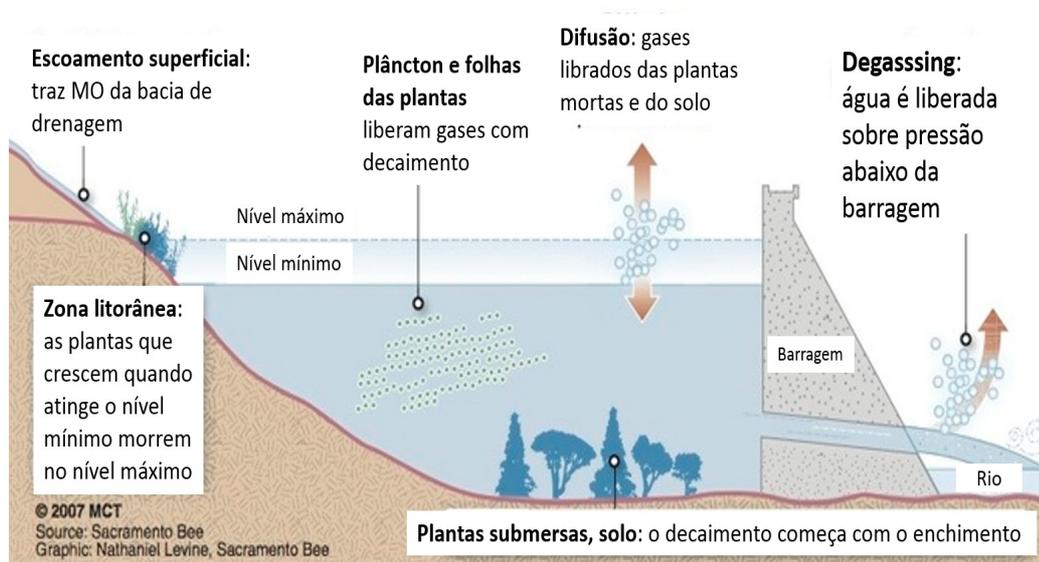


Figura 3: Estrutura de um reservatório Pereira Ferreira 2010

Assim ocorre a circulação do carbono, pelos oceanos, atmosfera e no interior da Terra, no ciclo de longa duração definido ciclo biogeoquímico, dividido em dois tipos, ciclo lento ou geológico, no qual o carbono é sedimentado e comprimido sob

as placas tectônicas, e o ciclo rápido ou biológico. Determinando com isso alguns principais acumuladores de carbono responsáveis pela manutenção do ciclo que são:

- ✓ Os oceanos, grandes depósitos de gás carbônico e realizam uma troca constante de carbono com a atmosfera;
- ✓ A atmosférica com concentração menor de carbono, pois a maior parte está nos oceanos e na crosta terrestre;
- ✓ Solos, grandes acumuladores de carbono, que onde basicamente é retirado as principais fontes de energia que causa a liberação do CO₂;
- ✓ Florestas, essencial para o equilíbrio do ciclo, também são acumuladores de carbono.

Sendo este ciclo um dos vários existentes, ele pode ser um dos principais que detém o elemento que constituem a vida, o qual é indispensável, por estar presente nos seres vivos e por ser um dos responsáveis pela fotossíntese, sem ele não existiria o primeiro alimento da cadeia alimentar, os produtores; além de manter o planeta Terra aquecido pelo efeito estufa.

1.4. Fluxo de CO₂ na interface água atmosfera

O CO₂ está presente nos oceanos de forma solúvel, sendo trocado entre a atmosfera e a hidrosfera pelo processo de difusão, esta troca é contínua até o estabelecimento de um equilíbrio entre a quantidade de CO₂ na atmosfera acima da água e a quantidade de CO₂ na água. Os oceanos são considerados os maiores acumuladores do planeta, isso torna um eficiente meio de trocas entre os sistemas de circulação do carbono na terra, a quantidade de gás que atinge a interface ar água depende da relação entre produção e consumo, assim como a forma de transporte ao longo da coluna d'água. A velocidade de troca gasosa na interface ar água pode ocorrer de forma mais acentuada em virtude de perturbações na superfície causadas por fatores como vento e ondas.

As trocas gasosas que ocorrem no oceano são a mesma que acontecem em todos os meios aquáticos, isso significa dizer que rios, lagoas, igarapés e represas emitem CO₂, seja ela por difusão molecular o por turbulência. O Brasil possui em seu território várias áreas alagáveis de amplo interesse no estudo de emissão dos

GEE, isso inclui um dos sistemas naturais de grande importância como a bacia Amazônica, no norte do país onde se encontra vários rios e áreas represadas por hidrelétricas de extrema importância para a economia do Brasil.

Essas áreas estão distribuídas ao longo de todo o território nacional, não se limita somente no território amazônico e têm diferença quanto ao bioma em que está inserida, área total, ano de construção, entre outros. A emissão nestes ambientes apresenta grande suscetibilidade a fatores tais como: disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes, presença e tipo de matéria orgânica, profundidade, pH e temperatura do meio (DEVOL et al., 1988; BARTLETT et al., 1988;). A importância destes parâmetros se deve à sua potencial capacidade de alterar o processo de produção e transporte até a camada limite de troca gasosa na interface ar-água onde o gás pode ser transferido para a atmosfera.

A condução turbulenta movimentada os gases dissolvidos no corpo hídrico para as proximidades laminar da água, onde há uma camada em que a turbulência é enfraquecida devido às propriedades viscosas da fronteira dos dois meios. Nesta camada, o transporte difusivo do gás é dominante, e sua espessura depende da difusividade, solubilidade e reatividade do gás em questão (BADE, 2009). Na figura 4 há um diagrama conceitual da camada turbulenta e da camada difusiva.

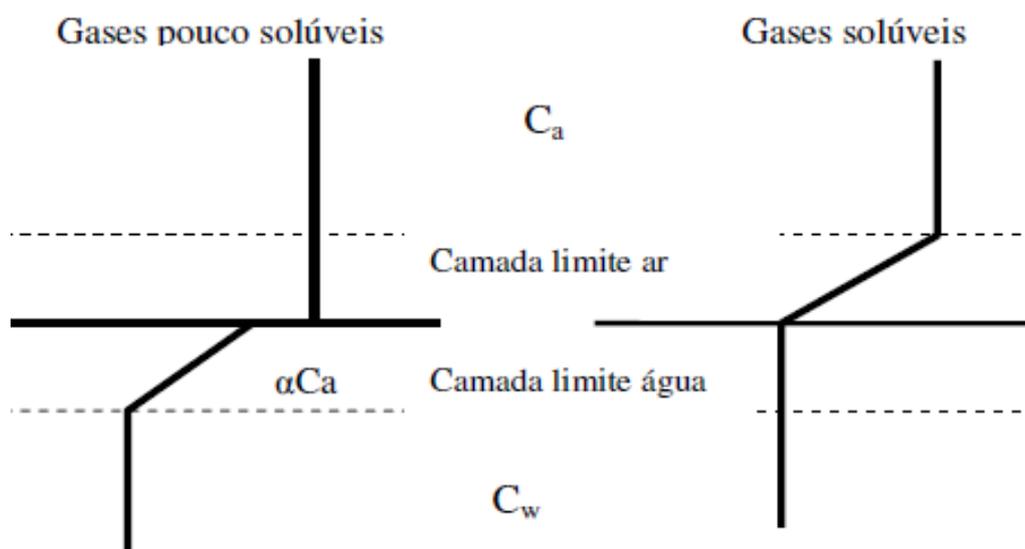


Figura 4: Diagrama da troca gasosa entre água e ar. A representação a esquerda refere-se aos gases pouco solúveis, onde a resistência ocorre na camada limite aquosa. À direita para gases solúveis, onde a resistência ocorre na camada limite atmosférica Macintyre, (2002).

Os fluxos de CO₂ em meio aquático tem sido bastante considerado no meio científico devido a influência e a contribuição do gás emitido ou absorvido, estas áreas alagadas representam um percentual significativo para o ciclo global do carbono, os estudos tem como um dos objetivos principais saber o quanto a interferência humana pode estar alterando o ciclo natural principalmente em áreas represadas onde ocorrem severas modificações do ecossistema.

1.5. Emissão de GEE em hidrelétricas na floresta tropical amazônica

O Brasil é detentor de um potencial hidrelétrico invejável, seus recursos naturais hídricos imensos são verdadeiras matrizes energéticas para a geração de energia em território nacional. As hidrelétricas foram consideradas como principal matriz energética e fontes limpa, de baixo impacto ao meio ambiente. No entanto o cenário atual tem mostrado com a divulgação de pesquisas e relatórios que há uma preocupação com os gases produzidos pela construção dessas hidrelétricas e o represamento das águas nas barragens e alertam sobre as mudanças do clima e o eminente aquecimento da terra devido o aumento dos GEE. Assim a questão de novas construções vem sendo questionado, hidrelétricas instaladas ou previstas para serem construídas na Amazônia podem ser tão ou mais poluentes que usinas termelétricas, pois barragens da Amazônia produzem GEE, especialmente durante seus primeiros dez anos de operação (ABRIL et al., 2005).

Dezoito novos reservatórios poderão emitir, em cem anos, até 21 milhões toneladas de metano e 310 milhões de dióxido de carbono dos principais gases de efeito estufa, responsável pelo aquecimento do planeta. Como o metano é 32 vezes mais potente no efeito estufa que o gás carbônico, o montante de emissões pode chegar a até 982 milhões de toneladas de gás carbônico. Em panorama mais otimista, o valor é de 369 milhões de toneladas. As hidrelétricas em áreas de florestas tropicais são responsáveis por emitir GEE, o que pode acelerar ainda mais o processo de aquecimento da terra, contribuindo para o desequilíbrio do clima, que causa as mudanças climáticas. O modo que essas emissões e seus impactos deve ser calculados, e como as projeções devem ser feitas com contribuições ao aquecimento global por outras fontes de energia, como os combustíveis fósseis, é uma questão de discordância (FEARNSIDE, 1997).

As emissões de CO_2 de represas são bastante diferentes das emissões de metano em termos do impacto sobre o efeito estufa. Diferente do metano, somente uma porção do CO_2 emitido pode ser contada como um impacto líquido porque grande parte do fluxo observado do gás CO_2 é cancelada através de absorções no reservatório. Enquanto o metano não entra em processos fotossintéticos, embora seja reduzido lentamente a CO_2 que pode ser removido através de fotossíntese. Durante os aproximadamente 10 anos, em média, que cada molécula de metano permanece na atmosfera, o efeito estufa que isto causa deve ser considerado um impacto líquido da represa (FEARNSIDE, 2004).

A figura 5 mostra a circulação de CO_2 e CH_4 um esquema de uma represa.



Figura 5: Circulação de CO_2 e CH_4 em um esquema de uma represa. Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/gases-de-efeito-estufa-gee-e-usinas-hidroel%C3%A9tricas-do-pessoa>

Há entradas de carbono, assim como a sua deposição nos sedimentos, onde os principais meios de emissão ocorre por meios de difusão (CO_2) e emissão por bolhas (CH_4). Existem hidrelétricas que são verdadeiras bombas de emissão de GEE, Balbina é umas das principais causas de estudos de impactos causados por este tipo de obra, acredita-se que uma emissão de carbono nesta hidrelétrica por ocasião da biomassa das árvores sendo transformada em metano dissolvido do mais tarde em CO_2 dissolvido, se tornando uma fonte principal emissora de CO_2 na água em Balbina (Kemenes et al., 2011).

Nos reservatórios as emissões de gases variam amplamente com a localização geográfica, temperatura, tipo de vegetação do entorno do reservatório, sazonalidade, tamanho e profundidade do reservatório, operação da barragem, profundidade da tomada de água das turbinas, entre outros fatores. Estes elementos influenciam no ciclo biogeoquímico do reservatório que vai determinar o padrão de emissão de um reservatório ao longo do tempo. A estimativa de emissão de reservatórios envolve muitas incertezas. De acordo com Rosa et al. (2002) as características do reservatório, sua extensão, o tipo de vegetação submersa e o modo de geração de energia alteram a variação na taxa de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) por unidade de eletricidade produzida. Entender o processo possivelmente melhoraria as estimativas de emissões, aperfeiçoaria os balanços de carbono e os modelos preditivos para as emissões de GEE em reservatórios hidrelétricos brasileiros.

Estudos em reservatórios hidrelétricos brasileiros revelaram que a intensidade de emissão de gases varia com o tempo, porém com comportamento irregular das flutuações. Segundo Santos, (2000), a variação é modulada por um conjunto de influências como parâmetros físico-químicos da água, intensidade dos ventos, temperatura do ar, insolação, composição da biomassa dentre outros.

Os lagos de reservatórios hidrelétricos produzem gases biogênicos gerados da decomposição de matéria orgânica dentro da água que são governados por interações com a atmosfera e pelos processos de produção biológica e de consumo de gás abaixo da interface água-atmosfera que segundo Rosa et al. (2002), isso ocorre devido as atividades biológicas em lagos variarem imensamente com o tempo e com a profundidade da água. Esses reservatórios contêm biomassa, proveniente da vegetação afogada, que ao se decompor anacronicamente, emitem principalmente CH_4 e N_2 , e secundariamente CO_2 , enquanto que na decomposição aeróbica somente CO_2 e N_2 são emitidos. Existe a própria biomassa produzida no reservatório como, por exemplo, fitoplâncton, zooplâncton, dentre outros. (SANTOS *et al.*, 2006).

Na Amazônia existem hidrelétricas em funcionamento e outras em construção, e com isso se levanta a ideia do quanto essas construções contribuem para o aumento dos gases do efeito estufa. Sabe que existe uma grande demanda de gases como CO_2 e CH_4 sendo emitidos para a atmosfera.

Alguns estudos já mediram as emissões de usinas hidrelétricas da Amazônia, como o caso da usina de Tucuruí e Samuel (Lima 2005, Rosa *et al.* 2003), Curua-Una (Duchemin 2000) e Balbina (Kemenes, 2006) e Vale (2016).

Tabela1: Estatísticas sumárias para as emissões superficiais totais de gás carbônico nos reservatórios amazônicos. Fonte: Vale (2016).

Reservatório (fonte)	Fluxo médio ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Área (km^2)	Idade/Anos
Balbina (Vale, 2016)	0,467	1770	25
Balbina (Kemenes, 2006)	3,665	1770	25
Tucuruí (Lima et al.,2002)	3,568	2430	30
Samuel (Lima et al., 2002)	2,797	550	23
Curua-Una (Duchemin et al., 2000; Saint Louis et al 2000)	0,761	200	37
Petit Sault (Abril., et al 2005)	1,253	365	20

A hidrelétrica de Balbina, no rio Uatumã, por exemplo, está emitindo cerca de 10 vezes mais que uma termoelétrica movida a carvão mineral, considerado hoje o combustível mais poluente (KEMENES, 2006). Segundo a tabela, no estudo de Duchemin (2000) e Saint Louis et, al. (2000), o valor médio de emissão de CO_2 estimada no lago do Curua-Una foi de $0,761 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

A decomposição da biomassa de árvores acima da superfície da água é significativa na primeira década depois da formação do reservatório em uma área de floresta tropical, sendo que essa emissão diminui à medida que o estoque de biomassa vai se esgotando. As emissões de gases de efeito estufa representa uma forte preocupação ambiental com relação a construção de represas hidrelétricas em áreas de floresta tropical, (FEARNSIDE, P.M., 2008).

1.6. Fontes de emissão de CO_2

As fontes naturais de emissão de CO_2 na terra são conhecidas, e já estudadas, principalmente devido a sua relação com a biosfera e atmosferas. Os solos são as maiores fontes naturais de CO_2 , assim como as florestas e oceanos, apesar de serem acumuladores de carbono ambos desempenham a função de emissor, ou seja, também emitem CO_2 para a atmosfera, a floresta desempenha esse papel de forma mais nítida, pois para a realização da fotossíntese elas retiram

o carbono acumulado na atmosfera, isso só ocorre durante o dia, enquanto a incidências de raios solares. Durante a noite o processo é inverso, as plantas passam a respirar emitindo maiores quantidades de gás.

Segundo Neftel et, al. (1985) os altos níveis de gases do efeito estufa na atmosfera, comparados com o início da revolução industrial (~ 1850) aumentou aproximadamente 25% (cerca de 0,75 graus) na temperatura do planeta. Esse aumento se deu principalmente devido a atividade antropogênica, e também em decorrência de trocas importantes de dióxido de carbono com os oceanos e a biosfera. Essa interação com a biosfera ocorre através da ação da fotossíntese e oxidação (perda de elétrons). Uma das consequências desse nível elevado de gases na atmosfera é o aumento da temperatura do planeta, contribuindo ainda mais para que ocorra o efeito estufa e conseqüentemente o aquecimento global.

O Dióxido de Carbono é produzido naturalmente através da respiração, pela decomposição de plantas e animais e pelas queimadas naturais em florestas. Fontes antropogênicas de dióxido de carbono são: queima de combustíveis fósseis, mudanças na vegetação (como o desflorestamento), queima de biomassa e a fabricação de cimento. O principal processo de renovação do dióxido de carbono é a absorção pelos oceanos e pela vegetação, especialmente as florestas. Por isso vem despertando muito interesse os processos envolvidos no ciclo do carbono devido, principalmente, ao aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, das possíveis alterações climáticas em função do aquecimento global (RASERA, 2005).

A figura 6, mostra a quantidade de carbono emitido na atmosfera através da queima de combustíveis fósseis e desflorestamento entre os anos de 1820 e 1980.

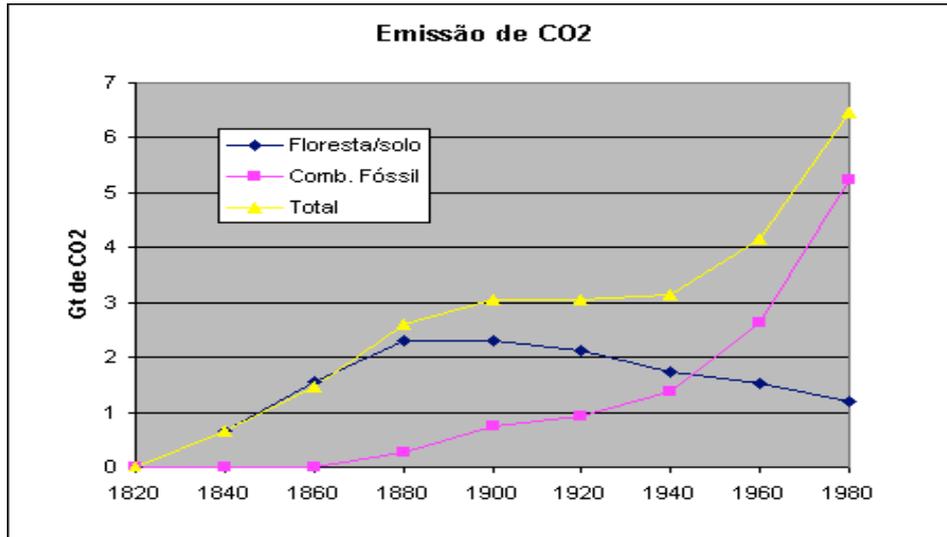


Figura 6: Efeito Estufa e o consumo de energia, Matéria publicada na revista eletrônica Economia & Energia, na edição de Maio – Junho 2001.

Os veículos automotores são responsáveis pela liberação de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azoto (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), derivados de chumbo e hidrocarbonetos. Juntamente com a queima de combustíveis fósseis, o desflorestamento para expansão agrícola, urbana ou produção de carvão vegetal, além das frequentes queimadas de vegetações arbóreas, também é grandes contribuintes para a emissão de CO₂, a derrubada de árvores provoca o aumento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera pela sua queima ou por decomposição natural. Vale lembrar, que as árvores aspiram dióxido de carbono e produzem oxigênio através da fotossíntese. Portanto, uma menor quantidade de árvores significa também menos dióxido de carbono sendo absorvido.

2. JUSTIFICATIVA

A preocupação com o efeito estufa e a mudança climática tem gerado vários estudos a fim de saber se o carbono é o grande responsável nas variações do clima. O CO₂ é um importante gás do efeito estufa e o crescente aumento na atmosfera já comprovado pode alterar o equilíbrio do clima causando mudanças que podem ser nocivas ao planeta. Algumas hidrelétricas na Amazônia e também no estado do Pará comprovam que as Hidrelétricas estão emitindo gases do efeito estufa consideráveis. Através deste estudo pode-se obter um resultado a respeito do tema

Fluxo de CO_2 no reservatório da hidroelétrica de Curua-Una e assim dizer o quanto de CO_2 o reservatório está emitindo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral:

Determinar a variabilidade sazonal das emissões de CO_2 do lago do reservatório da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una.

3.2. Objetivos Específicos:

- Estimar o fluxo de CO_2 na água através do método de câmara flutuante;
- Correlacionar os fluxos médios mensais com a sazonalidade climática (precipitação) e o nível do reservatório..

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A., Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB 4007. doi: 10.1029/2005GB002457.

ALLESSI, Carla Caroline. Análise estatística e geoestatística da distribuição de CO_2 , CH_4 Rn e microbiota em uso campopetrolífero do Recôncavo Baiano (BA) / Carla Caroline Alessi ; orientadores: José Tavares Araruna Júnior ;co-orientador: Patrício José Moreira Pires. – 2010.

BARROS, N.; COLE, J. J.; TRANVIK, L.; PRAIRIE, Y.; BASTVIKEN, D.; GIORGIO, P. del; ROLAND, F.; HUSZAR, V. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geo.*, v. 4, p. 593–596, 2011.

CALDEIRA, K. Long-term consequences of continued carbon dioxide emission to the atmosphere. In: *Seventh Carbon Dioxide Conference*. Boulder, Colorado: [s.n.], 2005.

COLE, J. J. et al. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems*, v. 10, n. 1, p. 172–185, 2007.

CONTI, J. B. Resgatando a fisiologia da paisagem. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 14, p. 59–68, 2001.

CORDEIRO, Sidney Araújo; SOUZA, Celso Coelho; MENDONZA, Zaíra M. S. H. Florestas Brasileiras e as Mudanças Climáticas. Revista Científica Eletrônica de Engenharia. Edição n.11, fev. 2008.

COX, P.M.; Harris, P.P.; Huntingford, C.; Betts, R.A.; Collins, M.; Jones, C.D.; Jupp, T.E.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453: 212-215. doi:10.1038/nature06960.

DEVOL, A.H.; RICHEY, J.E.; CLARK, W.A.; KING, S.L.; MARTINELLI, L.A. Methane emissions to the troposphere from the Amazon floodplain. **J. Geophys. Res.**, v. 93, n. D2, p. 1583-1592, 1988.

DUCHEMIN, E., LUCOTTE, M., CANUEL, R., QUEIROZ, A. G., ALMEIDA, D. C., PEREIRA, H. C. and DEZINCOURT, J. (2000) Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those from other reservoirs worldwide. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27, p. 1391-1395.

FEARNSIDE, P.M. 2008a. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa.

FEARNSIDE, P.M. 2005a. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7.

FEARNSIDE, P.M. 2004c. Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. *Ciência Hoje* 211: 41-44

FEARNSIDE, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source, *Climatic Change* 66(2-1): 1-8. Doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.0284 1.23

FEARNSIDE, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75. doi:10.1017/S0376892997000118

KEMENES, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2011. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G03004, doi: 10.1029/2010JG001465

KEMENES, A. Estimativa das Emissões de gases de efeito estufa (CO₂ e CH₄) pela Hidrelétrica de Balbina, Amazônia Central, Brasil. Tese – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Coordenação em Biologia Aquática e Pesca Interior, Manaus, 2006. 96 pg.

VALE, Roseilson Souza do. Medições de gases de efeito estufa e variáveis ambientais em reservatórios hidrelétricos na Amazônia Central. Tese (Doutorado) - INPA, Manaus, 2016.

LIBERATO, Ailton Marcolino. Impacto de cenários de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental / Ailton Marcolino Liberato. — Campina Grande, 2009.

MARENGO, José. Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a

Biodiversidade. Brasília: Editora Biodiversidade 26, 2006 p.25

NAÇÕES UNIDAS. Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, four Assessment Report. Work Group III, maio de 2007. Ciclo do carbono. Ilustração: Designua / Shutterstock.com

PACHECO, F. S. Influência dos processos meteorológicos e hidrodinâmicos na emissão de carbono em reservatórios de hidrelétricas. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, junho 2014.

POTTER, C.; KLOOSTER, S.; HIATT, S.; FLADELAND, M.; GENOVESE, V.; GROSS, P. Methane emissions from natural wetlands in the united states: Satellite-derived estimation based on ecosystem carbon cycling. *Earth Interactions*, v. 10, n. 22, p. 1–12, 2006.

PEREIRA, Ferreira, Simone Estimativa de emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas utilizando técnicas de sensoriamento remoto /Simone Pereira Ferreira. — Porto Alegre, 2015

RASERA, M. F. F. L. O papel das emissões de CO₂ para a atmosfera, em rios da bacia do Ji-Paraná (RO), no ciclo regional do carbono. 2005, 69 p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP. Piracicaba, 2005.

ROLAND, F.; VIDAL, L. O.; PACHECO, F. S.; BARROS, N. O.; ASSIREU, A.; OMETTO, J. P.; CIMBLERIS, A. C.; COLE, J. J. Variability of carbon dioxide flux from tropical (cerrado) hydroelectric reservoirs. *Aquatic Sciences*, Springer, v. 72, n. 3, p. 283–293, 2010.

ROSA, L.P.; SIKAR, B.M.; DOS SANTOS, M.A. & SIKAR, E.M. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF. 2002. <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/metano_p.pdf>

SANTOS, M. A. Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas. Rio de Janeiro, 2000, 147p. Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MACINTYRE, S.; WANNINKHOF, R.; CHANTON, J.P. Trace gas exchange across the air water interface in freshwater and coastal marine environments. In: MATSON, P.A.; HARRIS, 2002.

KEMENES, A., FORSBER, B. R., and MELACK, J. M. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 116, n. G3, 2011.

SAEFL, 1997, Climate in danger: Facts and implications of the greenhouse Effect. Swiss agency for the environment, forests and landscapes, Bern;

SPIRO, T.; STIGLIANI, W. Chemistry of the Environment. Prentice Hall, 2003. ISBN 9780137548965.

CAPÍTULO II

SILVA SÁ, Jéssica da. **FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA**. 2017. 48 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2017.

Resumo

Estudos em reservatório tem proporcionado conhecimento para entender qual a efetiva participação desses ecossistemas aquáticos no balanço global do carbono e sua influencia em relação a intensificação ou não do efeito estufa planetário. O estudo sobre o fluxo de CO₂ no reservatório de Curuá-Una observando suas variações mensais e correlacionando com a condições sazonais locais pode contribuir para o entendimento da troca líquida de carbono entre esse reservatório e a atmosfera. Desta forma o objetivo principal deste estudo foi determinar a variabilidade do fluxo de CO₂ do reservatório de Curuá-una no ciclo sazonal de um ano. Como parâmetro sazonal foram escolhidos a sazonalidade da precipitação da região e a variação do nível do reservatório. Para isto utilizou-se o método de uma câmara flutuante com amostragens quinzenais em um ponto do. Estas medidas foram realizadas entre 10:0 e 14:00 hora local com no mínimo 3 repetições. Adicionalmente, dados meteorológicos complementares também forma utilizados para analise e discussão dos resultados. Os resultados mostram que o fluxo de CO₂ proveniente do reservatório é positivo e moderado e possui dois períodos sazonais distintos: o de fluxo maior de janeiro a maio; e outro com fluxo menor de junho a dezembro. Em termos absolutos os valores encontrados para o fluxo de CO₂ no reservatório de Curuá-una o caracterizam como uma fonte fraca de CO₂ para a Atmosfera com valor médio de fluxo de 2,25 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Não possui correlação efetiva variabilidade do nível do reservatório. E possui boa correlação com os valores de precipitação acumulada mensal.

Palavras Chaves: Fluxo de CO₂; Câmera Flutuante; Hidroelétrica.

SILVA SÁ, Jéssica da. **FLUXO DE CO₂ NO RESERVATÓRIO DA HIDROELÉTRICA DE CURUA-UNA**. 2017. 48 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2017.

Abstract

Reservoir studies have provided knowledge to understand the effective participation of these aquatic ecosystems in the global carbon balance and their influence in relation to the intensification or not of the global greenhouse effect. The study of CO₂ flow in the Curuá-Una reservoir observing its monthly variations and correlating with local seasonal conditions may contribute to the understanding of the net carbon exchange between this reservoir and the atmosphere. Thus, the main objective of this study was to determine the CO₂ flux variability of the Curuá-una reservoir in the one-year seasonal cycle. As a seasonal parameter, the seasonality of the precipitation of the region and the variation of the reservoir level were chosen. For this purpose the method of a floating chamber with biweekly samplings at a point of the. These measurements were performed between 10:00 and 14:00 local time with at least 3 replicates. In addition, complementary meteorological data is also used to analyze and discuss the results. The results show that the CO₂ flow from the reservoir is positive and moderate and has two distinct seasonal periods: the largest flow from January to May; And another with smaller flow from June to December. In absolute terms, the values found for the CO₂ flow in the Curuá-una reservoir characterize it as a weak CO₂ source for the Atmosphere with an average flow value of 2.25 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. It does not have effective correlation variability of the novel of the reservoir. And it has a good correlation with the values of accumulated monthly precipitation.

Keywords: CO₂ flow; Floating Camera; Hydroelectric.

1. INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO_2) é um elemento que em conjunto com a radiação solar, e com presença de água é utilizado pelas plantas continuamente para sintetizarem a glicose, no processo da fotossíntese. Os fluxos de CO_2 ocorrem entre os três reservatórios principais, tendo a atmosfera um papel intermediário; em primeira aproximação, as trocas diretas entre biomassa continental e oceanos são negligenciáveis e todas as trocas entre esses dois reservatórios se produzem pelo intermédio da atmosfera. Segundo Richey et al, (2009), os sistemas fluviais como lagos e rios passaram a exercer uma importância significativa no ciclo do carbono, pois embora pequenos, eles atuam como emissores de CO_2 para a atmosfera. A interação entre superfície da água e atmosfera ainda não é bem compreendida, pois existem poucos estudos direcionados e dificuldades metodológicas de observação dos fenômenos de troca na interface água - ar.

Assim como estudos em rios, os reservatórios também têm proporcionado espaço para entender qual a real participação dos ecossistemas aquáticos no ciclo do carbono. Estudo como o de Kemenes (2006), mostra que a usina hidroelétrica de Balbina tem contribuído na emissão de gases de efeito estufa. O estudo recente de Vale (2016) mostrou que nesta represa há emissões tanto de CO_2 como de CH_4 . através de estudos como este pode perceber que outros reservatórios como de Curuá-una também pode ter uma contribuição significativa. Segundo Rasera (2010), as incertezas no balanço regional de carbono e a troca líquida entre a atmosfera e as águas superficiais deve-se ao pouco conhecimento dos processos que controlam a troca gasosa entre os dois meios: a água e o ar.

O presente trabalho é parte do esforço de pesquisadores, especialmente dos ligados ao Programa LBA, que buscam melhorar o entendimento do papel dos ecossistemas aquáticos Amazônicos no Balanço regional de Carbono. Particularmente, com a projeção de intensificar de empreendimentos geradores de energia através de Usinas Hidroelétricas formadoras de reservatórios, estudar os fluxos de CO_2 no reservatório da usina hidroelétrica de Curuá-una torna-se relevante para avaliar a contribuição efetiva desses empreendimentos nas emissões de carbono na Amazônia.

Dentre o contexto apresentado o objetivo geral deste trabalho foi determinar a

variabilidade sazonal do fluxo de CO_2 do reservatório da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una. Para tanto, foram realizados os seguintes objetivos específicos: estimar o fluxo de CO_2 na água através do método de câmara flutuante; correlacionar os fluxos médios mensais com a sazonalidade climática (precipitação) e o nível do reservatório.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Descrição da área de estudo

O lago do reservatório da Usina Hidroelétrica de Curuá-Una, com área de 200 km^2 , situa-se a 70 km ao sul da cidade de Santarém, no rio Curuá-Una, afluente da margem direita do rio Amazonas (figura 7). Suas coordenadas geográficas são: 2°24'52" Sul e 54°42'36" Oeste. A palavra Curuá-Una tem sua origem no Tupi-Guarani e significa “Rio Escuro” (Curuá: rio e Una: escuro). A Usina Hidrelétrica de Curuá-Una, foi construída no Planalto Santareno, sobre terrenos sedimentares clásticos terciários e quaternários da Formação Barreiras, com a parte superior do planalto constituída por extratos planos entre as cotas 150 e 200m (FERRARI, 1973). Construída em 1977, atualmente sua capacidade de produção de energia é de 30,3 MW.

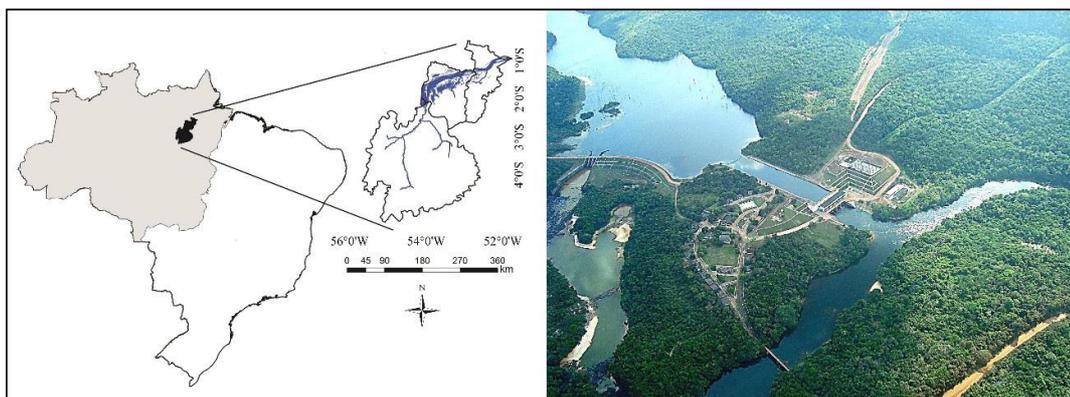


Figura 7: Foto esquemática da aérea da usina hidrelétrica de Curuá-Una, localizada a 70 km ao sudoeste da cidade de Santarém, no estado do Pará. Vale, (2016)

Seu lago caracteriza-se por possuir extensas áreas de árvores de grande porte mortas, regiões conhecidas como “paliteiros” (figura 8). Consequência do não desmatamento prévio antes do enchimento do reservatório. Conforme observações dos botânicos do Instituto Emilio Goeldi, na margem do novo leito a água tem

invadido a floresta provocando a morte de uma parcela de árvores, (BOLETIM INFORMATIVO, 2014). O não desmatamento de todo o trecho inundado provocou a liberação de ácidos, inclusive ácido sulfídrico, que poluíram a água. Além de matar os peixes (ictiofauna) ali existentes, reduzindo sensivelmente a população, o ácido corroeu as turbinas da usina sendo necessário a troca e o revestimento das páscominox. Por outro lado, esse ambiente fez com que se desenvolvessem espécies predadora, como a piranha, bastante numerosa no local, (DESTAQUE AMAZÔNIA, 1985).



Figura 8: Tipo de vegetação existente no Lago da UHE de Curuá-Una; Fonte: Sá, 2017.

2.2. A Câmara Flutuante

Para as estimativas do fluxo de CO₂ (F_{CO_2}) foi utilizada a técnica de câmara flutuante. A técnica é baseada na lei dos gases ideais, a pressão constante, onde a taxa de CO₂ no interior da câmara é proporcional a razão entre o volume e a área da câmara e inversamente proporcional a temperatura do ar próximo a superfície da água.

$$F_{CO_2} = \left(\frac{dp_{CO_2}}{dt} \right) \left(\frac{V}{RTS} \right)$$

$$F_{CO_2} = \left(\frac{dp_{CO_2}}{dt} \right) \cdot \left(\frac{V}{RTS} \right)$$

$$F_{CO_2} = \frac{\mu mol CO_2}{mol \cdot s} \cdot \frac{m^3}{m^2} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{mol \cdot K}{ATM \cdot m^3}$$

$$F_{CO_2} = \left(\frac{\mu mol CO_2}{m^2 \cdot s} \right)$$

Neste estudo utilizou-se uma bacia plástica com volume de ar interno efetivo de 8,6 litros e área de 0,08m². A bacia foi revestida com fita refratora para minimizar o aquecimento interno durante as medidas e em sua borda foi acoplado um flutuador (figura 9).



Figura 9: câmara flutuante; Fonte: Sá, 2017.

A câmara é acoplada a um analisador de gás por infravermelho, marca LICOR[®] modelo LI-820, através de tubulações, formando um circuito fechado impulsionado por uma micro-bomba com vazão controlada por fluxímetro de 1 litro por minuto. O LI-820 é conectado a um microcomputador onde pode-se acompanhar as medidas e armazenar os dados da medida. A frequência de medidas da concentração do CO₂ foi de 1 Hz. Posteriormente, os dados são processados em planilhas onde se realiza os cálculos para a estimativa do fluxo de CO₂. Adicionalmente, foi utilizado sílica gel para reduzir a umidade na amostra de gás proveniente da câmara. A figura 10 mostra o esquema utilizado nas medidas em campo.

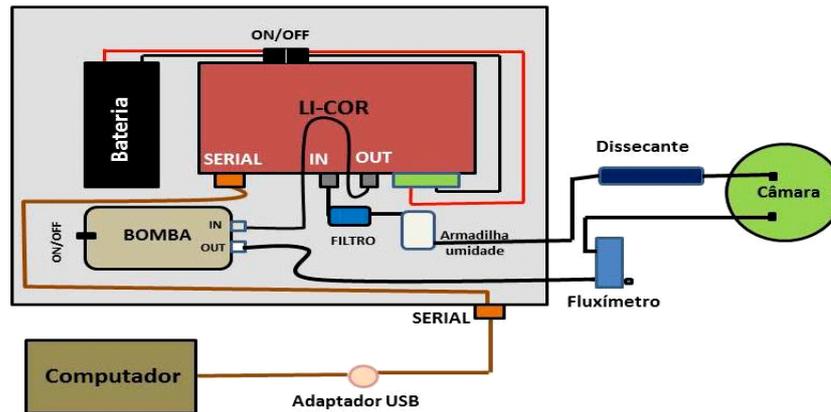


Figura 10: Funcionamento interno das conexões com a câmara flutuante. Fonte: Sampaio (2016).

Para a realização das medidas foi utilizado uma pequena voadeira para termos acesso ao lago e fazer as medidas. Com a voadeira ancorada em uma boia as medidas sempre foram feitas no mesmo ponto, ou seja próximo a boia. Antes de por a câmara na água para medir o fluxo, a leitura do analisador de gás precisa estar estabilizado, e assim mantendo a câmara fora da água para limpar o sistema e determinar a pressão parcial do gás. Depois disso a câmara flutuante é colocada sob a superfície da água e com isso é feito as medidas de concentração do CO_2 no interior da câmara. Em cada dia de amostragem foram feitos de três a seis medidas de câmara e cada medida tinha duração de cinco minutos aproximadamente.

Segundo Kremeret al. (2003) as medidas de fluxo com câmara são representativas quando feitas em condições de vento moderado (menor do que 6 m/s), pois é nesta faixa que a altura das ondas é limitada e não se notam pequenas ondulações com cristas esbranquiçadas. O modelo da câmara varia de acordo com o objetivo do estudo, mas alguns cuidados devem ser tomados para evitar possíveis erros: (a) a área de contato da câmara deve ser maior do que o volume da mesma (KREMERET et al., 2003); (b) a câmara deve ter um “respiro” para comunicar mudanças na pressão atmosférica e flutuações no volume de ar dentro da câmara (LIVINGSTON; HUTCHINSON, 1995) e; (c) o controle da temperatura interna é importante dependendo do tipo de detecção da concentração do gás (BELANGER; KORZUN, 1991) e do tempo de amostragem.

Os parâmetros físico-químicos da água foram medidos utilizando uma sonda multiparamétrica modelo YSI Professional Plus[®] com sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pressão (mmHg), condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (em porcentagem [%])

e concentração [mg.L^{-1}]) e pH, além de um anemômetro portátil para medir a velocidade do vento em (m/s).

2.3. Análise dos dados

Aquisição e análise dos dados foram feitas com o apoio do laboratório de Física e Química da Atmosfera da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA. Os dados foram processados utilizando software livre, planilha do BrOffice®. Para cada medida de câmara era selecionado um intervalo de tempo entre 3 a 4 minutos que melhor representasse a taxa de acumulação de CO_2 dentro da câmara. Deste intervalo de medidas é determinada a taxa de acumulação de CO_2 através de regressão linear das medidas no intervalo de tempo selecionado (figura 11). O cálculo do Fluxo de CO_2 é dado pela equação (1).

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \frac{V}{S} \frac{1}{RT} \quad (1)$$

Onde F é o fluxo em ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), $\Delta C/\Delta t$ é a taxa de acumulação em ppm/s, V é o volume de ar interno na câmara em (m^3), S a área da superfície da água na câmara medida em (m^2), R a constante do gás dada em ($\text{atm}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) e T é a temperatura do ar próxima a superfície da água em Kelvin (K). A figura (11) mostra a planilha utilizada para calcular o fluxo de CO_2 .

Os dados de precipitação do período de estudo foram adquiridos da estação meteorológica instalada na Usina Hidroelétrica. E os dados do nível do reservatório foram disponibilizados pelo escritório da Eletronorte de Santarém.

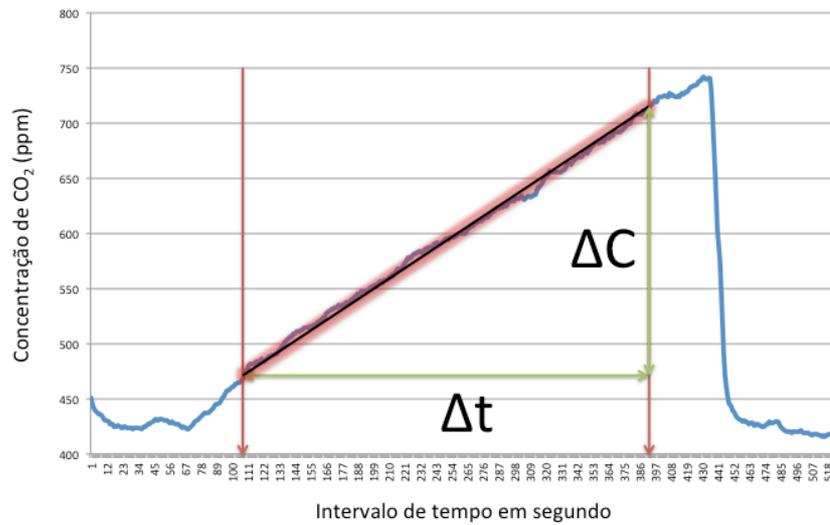


Figura 11 – Exemplo do processamento de dados para as medidas de câmara. Escolha do intervalo para cálculo da taxa de acumulação de CO₂ dentro da câmara.

Medidas com câmara flutuante - fluxo CO ₂														
Data	Taxa de Acumlação (ppm/s)						Média	Desvio Padrão	Vol. Camara (L)	Const. Univ. Gases	Temp. Ar (K)	Area Camara (m ²)	Fluxo CO ₂ (μmol CO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)	Fluxo CO ₂ (μg CO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹)
	1	2	3	4	5	6								
29/04/16	0,88	0,81	0,53				0,74	0,19	8,6	0,08	303	0,09	3,00	132
06/05/16	0,53	0,21	0,6	0,6	0,58		0,50	0,17	8,6	0,08	303	0,09	2,04	90
21/05/16	0,99	0,98	0,88	0,55	0,9		0,86	0,18	8,6	0,08	303	0,09	3,48	153
27/05/16	1,02	0,8	1,1				0,97	0,16	8,6	0,08	303	0,09	3,94	173
10/06/16	0,33	0,46	0,3				0,36	0,09	8,6	0,08	303	0,09	1,47	65
17/06/16	0,43	0,67	0,62	0,25	0,29	0,45	0,45	0,17	8,6	0,08	303	0,09	1,83	81
24/06/16	0,41	0,29	0,36	0,5	0,34	1,83	0,62	0,60	8,6	0,08	303	0,09	2,52	111
01/07/16	0,5	0,63	0,51	0,69	0,73	0,9	0,66	0,15	8,6	0,08	303	0,09	2,67	118
08/07/16	0,51	0,12	0,28	0,51	0,42	0,41	0,38	0,15	8,6	0,08	303	0,09	1,52	67
12/08/16	0,23	0,31	0,39	0,47	0,51	0,43	0,39	0,10	8,6	0,08	303	0,09	1,58	70
26/08/16	0,29	0,32	0,3	0,4	0,6	0,38	0,38	0,12	8,6	0,08	303	0,09	1,55	68
02/09/16	0,51	0,99	0,38	0,69	0,63		0,64	0,23	8,6	0,08	303	0,09	2,59	114
30/09/16	0,3	0,26	0,34	0,18	0,3	0,21	0,27	0,06	8,6	0,08	303	0,09	1,07	47
21/10/16	0,48	0,32	0,56	0,48	0,39	0,42	0,44	0,08	8,6	0,08	303	0,09	1,79	79
28/10/16	0,34	0,37	0,33	0,43	0,41	0,5	0,40	0,06	8,6	0,08	303	0,09	1,61	71
04/11/16	0,11	0,19	0,09	0,11	0,1		0,12	0,04	8,6	0,08	303	0,09	0,49	21
18/11/16	0,2	0,23	0,19	0,1			0,18	0,06	8,6	0,08	303	0,09	0,73	32
05/01/17	0,40	0,60	0,90	0,36	1,04		0,66	0,30	8,6	0,08	303	0,09	2,67	118
19/01/17	0,55	0,76	0,58	0,73	0,63	0,86	0,69	0,12	8,6	0,08	303	0,09	2,77	122
26/01/17	0,89	0,91	0,92	0,75	1,24		0,94	0,18	8,6	0,08	303	0,09	3,82	168
09/02/17	0,13	0,14	0,23	0,28	0,32	0,40	0,25	0,11	8,6	0,08	303	0,09	1,01	45
23/02/17	1,38	1,24	0,65	0,93	1,13		1,07	0,28	8,6	0,08	303	0,09	4,32	190
02/03/17	1,46	1,18	1,94	1,28	0,45		1,09	0,44	8,6	0,08	303	0,09	4,42	195
10/03/17	0,16	0,19	0,30	0,18	0,33		0,23	0,08	8,6	0,08	303	0,09	0,94	41

Figura 12 – Exemplo da planilha utilizada para realizar o cálculo do fluxo de CO₂

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura (13) mostra os valores médios do fluxo de CO₂ calculados no período de estudo. Em termos absolutos os valores calculados pela técnica de câmara flutuante estão de acordo com estimativas realizadas por RASEIRA (2008), entre outros autores não citados, que estimaram o fluxo de CO₂ em águas com características similares as do reservatório da hidroelétrica de Curuá-una na Amazônia. Pode-se observar dois períodos distintos, um com valores de fluxo na ordem de 3,00 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e outro com valores menores do que 2,00 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, caracterizando uma sazonalidade no fluxo entre dois períodos os quais definimos como: a) fluxo maior, que corresponde ao meses de Janeiro a Maio e b) fluxo menor, correspondentes aos meses de Junho a Dezembro.

O fluxo médio para o período estudado foi de 2,25 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ é considerado moderado, isso pode ser explicado devido às características que este tipo de reservatório possui as quais podemos destacar: presença de biomassa inundada, grandes quantidades de sedimentos, que contribui com as taxas e emissão de CO₂.

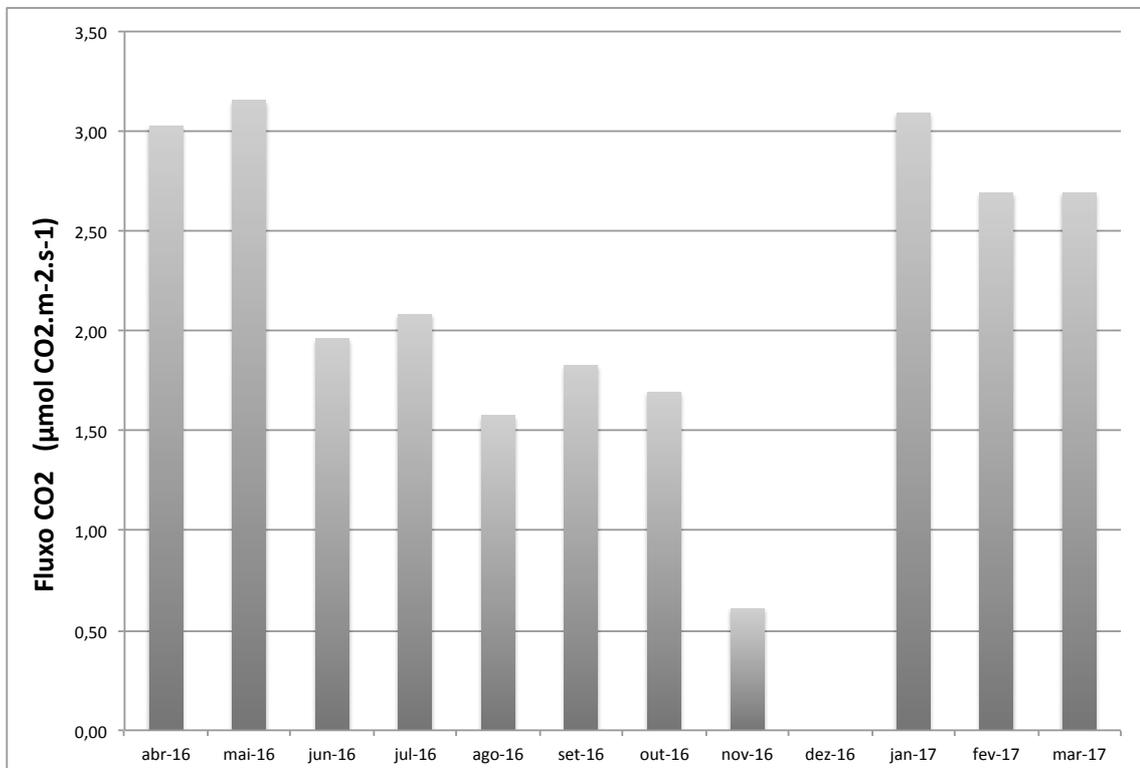


Figura 13 – Gráfico com os valores médios mensais do Fluxo de CO₂ no período de estudo. Não foram realizadas medidas em dezembro por motivos logísticos.

Ainda observa-se que para o mês de novembro as medidas realizadas resultaram em um fluxo médio mensal da ordem de $0,50 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Este valor pode estar associado ao nível do reservatório, pois este foi o mês em que o reservatório esteve com sua menor cota (figura 14). Pode se supor que a redução no abastecimento do reservatório por águas ricas em CO_2 diluído, provenientes da micro-bacia que desaguam no reservatório, possa refletir na diminuição do fluxo de CO_2 , uma vez que o gradiente de CO_2 entre o reservatório e a atmosfera tende a diminuir. Da mesma forma, deveríamos observar um aumento do fluxo médio mensal nos meses em que o reservatório enche com águas ricas em CO_2 . De fato observa-se valores maiores do fluxo médio mensal nos períodos em que o reservatório está com sua capacidade plena, ou próxima da máxima.

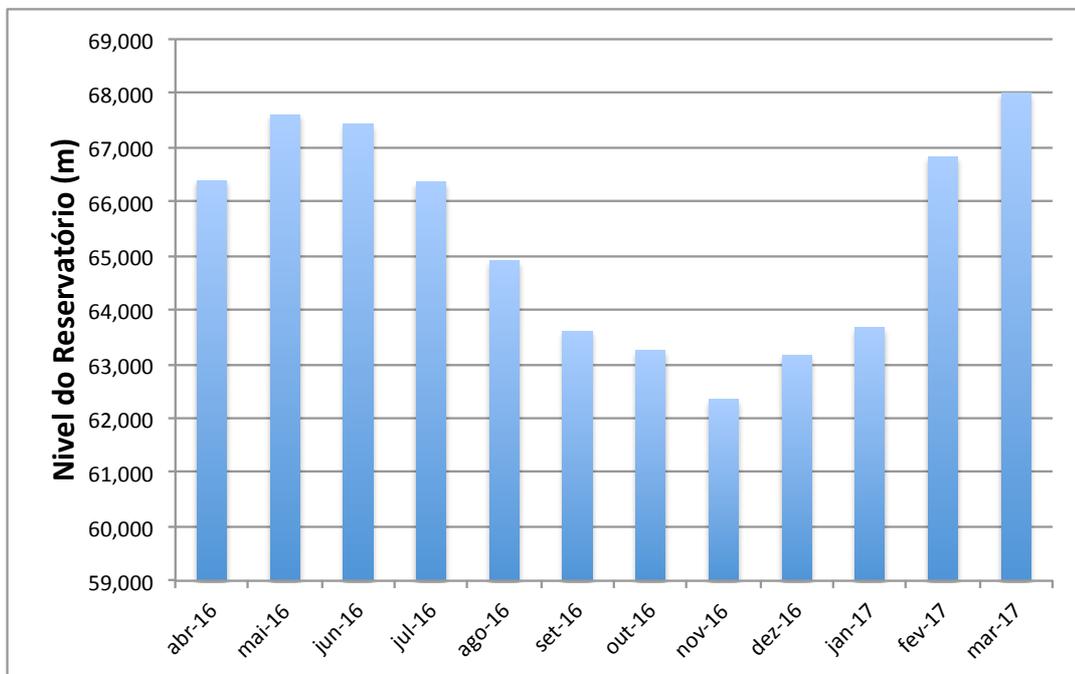


Figura 14 – Gráfico com os valores da cota média mensal do reservatório de Curua-Una no período do estudo.

Entretanto, a relação entre a variação sazonal do nível do reservatório com os valores médios mensais dos fluxos calculados não apresentam correlação significativa para o período de estudo, sendo que a regressão linear entre estas duas variáveis apresentou $r^2 = 0,36$ (figura 15). Contudo, pode-se concluir que existe evidência de o fluxo de CO_2 aumenta com o aumento do nível do reservatório. Porém, para entender e caracterizar a relação efetiva entre estas duas variáveis um estudo sistemático de longo prazo se faz necessário, integrando medidas de pCO_2 do reservatório e dos seus afluentes.

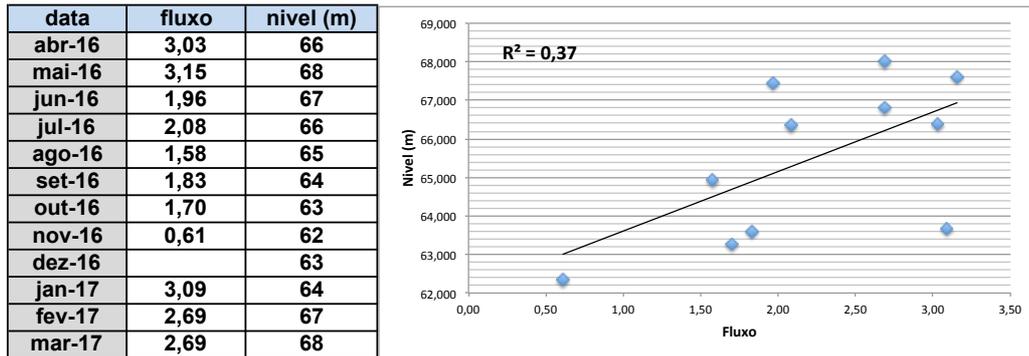


Figura 15 – Tabela com os dados médios mensais do fluxo de CO₂ ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e do nível do reservatório em metros e o gráfico da regressão linear para a correlação temporal entre as duas variáveis.

A figura (16) mostra os valores de precipitação acumulada mensal para o período do estudo na região do reservatório da hidroelétrica de Curuá-una. Nota-se que a sazonalidade climática da precipitação ao longo do período de estudo. Destaca-se que, porém, que no período considerado seco (agosto a dezembro) ocorreram altas precipitações acumuladas nos meses de setembro, outubro e dezembro. Para analisar uma possível anomalia de precipitação acumulada neste período é necessário realizar a climatologia da precipitação para esta região, o que foi realizado neste estudo.

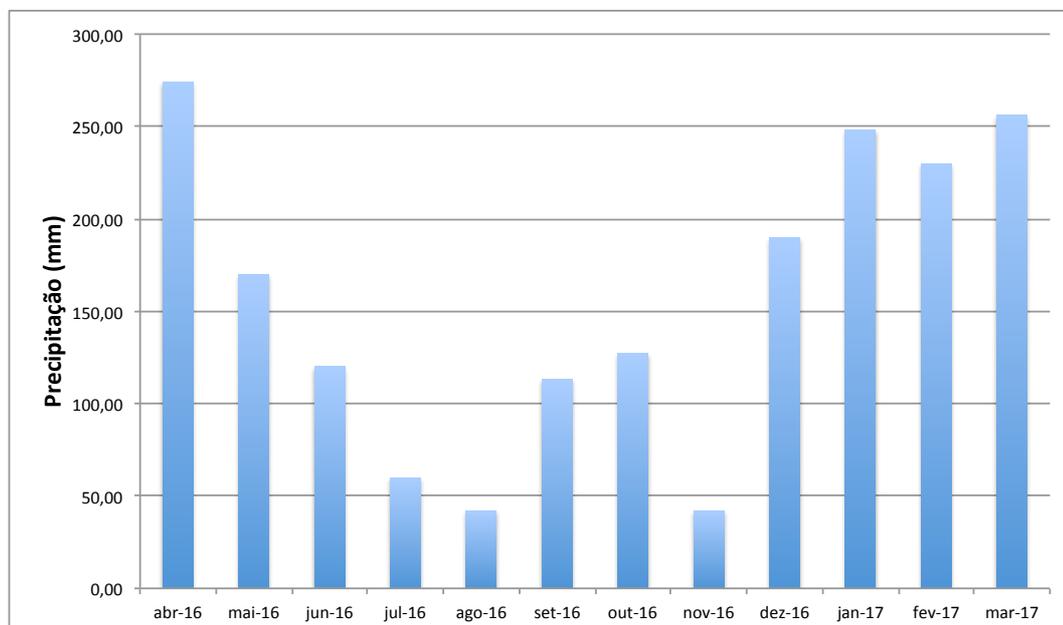


Figura 16 – Precipitação mensal acumulada para o período de estudo.

Com relação a correlação entre os valores médios mensais do fluxo e a precipitação acumulada mensal pode-se supor uma correlação direta, assim como

para o nível do reservatório, onde com o aumento da precipitação induz um aumento do fluxo no reservatório. De fato, a correlação entre estas duas variáveis mostrou-se maior do que a correlação entre o fluxo e o nível do reservatório, com $r^2 = 0,70$ (figura 17).

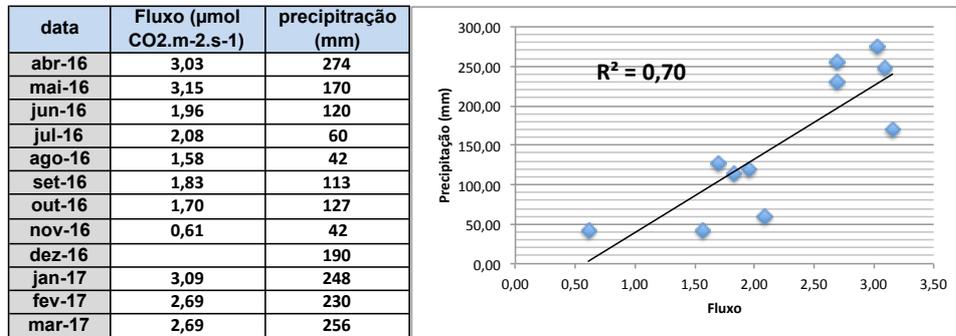


Figura 17 – Tabela com os dados médios mensais do fluxo de CO_2 ($\mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e a precipitação acumulada mensal e o gráfico da regressão linear para a correlação temporal entre as duas variáveis.

Com o aumento da precipitação, maior será a descarga de material superficial das margens ao reservatório através do processo de lixiviação e drenagem. Desta forma, o impacto nas medidas com câmara podem ser sentidas mais rapidamente do que o aumento gradual do reservatório.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Das análises dos resultados e considerando os objetivos propostos neste estudo concluímos que:

- Pode-se caracterizar o fluxo de CO_2 do reservatório de Curuá-una em dois períodos sazonais: um com fluxos maiores e outro com fluxos menores.
- Não existe uma forte correlação entre o fluxo de CO_2 e o nível do reservatório, porém limitações metodológicas deste estudo não permite discutir adequadamente os efeitos do nível do reservatório no fluxo de CO_2 .
- Existe uma forte correlação dos valores do fluxo de CO_2 com a sazonalidade da precipitação na região de estudo.

Recomenda-se para trabalhos futuros que complementaríamos esse estudo:

- Sistematização das medidas por câmara, ou seja, medidas diárias;

- Medidas integradas de pCO₂, parâmetros físico-químicos e climáticas (vento, gradiente de temperatura (ar-agua), radiação solar)
- Medidas acima citadas com distribuição espacial, para melhor caracterizar o reservatório com um todo;
- Medidas intensivas, sistemáticas (mensais), do ciclo diário em diferentes pontos do reservatório;

6. BIBLIOGRAFIA

BOLETIM INFORMATIVO: Hidrelétrica de Curuá-Una - Projeto Mapeamento Social como Instrumento de Gestão Territorial contra o desmatamento e a devastação, julho, 2014.

DESTAQUE AMAZÔNIA: Órgão de Divulgação do Museu Paraense Emílio Goeldi Ano II - N 4 – Fevereiro, 1985

FRANKIGNOULLE, M. (1988) Field measurements of air-sea CO₂ exchange. *Limnol. Oceanogr.*, 33(3), p. 313-322.

GUÉRIN, F., ABRIL, G., RICHARD, S., BURBAN, B., REYNOUARD, C., SEYLER, P., DELMAS, R. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters* 33, L21407. doi: 10.1029/2006GL027929.

KEMENES, A., FORSBERG, B.R., MELACK, J.M. 2011.CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil).*Journal of Geophysical Research* 116, G03004.doi: 10.1029/2010JG001465.

RASERA, M. F. F. L. Determinação dos fluxos de CO₂ e parâmetros físicos envolvidos neste processo em diferentes ambientes fluviais da Amazônia. 2010. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências (Química na Agricultura e no ambiente)) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP. PIRACICABA, 2010.

RICHEY, J. E., KRUSCHE, A. V., JOHNSON, M., CUNHA, H. B., BALLESTER M.V.The role of rivers in the regional carbon balance.Amazonia and Climate Change. In: Keller M, Bustamante M, Gash J, Dias P (eds.) LBA Synthesis Volume - Amazonia and Global Change. AGU Press. 2009.

ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. Greenhouse gases emission from hydroelectric reservoirs. In: ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. (Ed.) Carbon dioxide and methane emissions: a developing country perspective. Rio de Janeiro: COPPE; UFRJ, 1996. p. 71-77.

VALE, R. S. Medições de gases de efeito estufa e variáveis ambientais em reservatórios hidrelétricos na Amazônia Central - Manaus, 2016.