

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS**

Guilherme Pacheco Schuchter

Belo Horizonte

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização
em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Dr. Gilberto Caldeira Bandeira de Melo.

Belo Horizonte

2010

Guilherme Pacheco Schuchter

Emissão de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios Hidrelétricos

Monografia apresentada ao Curso de Especialização
em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Dr. Gilberto Caldeira Bandeira de Melo (orientador) – UFMG

Wilfrid Keller Schwabe – UFMG

Eliane Wolff – UFMG

Belo Horizonte, 04 de Agosto de 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais José Valdir Schuchter e Mariangela Pacheco Schuchter por sempre terem me ensinado o caminho correto a se seguir e a importância da obtenção do conhecimento.

À minha namorada Eveline Diniz e Souza por ter sido uma incentivadora para que eu fizesse o curso e ter me apoiado incondicionalmente durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus irmãos Bernardo Pacheco Schuchter e Emanuel Pacheco Schuchter por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu orientador Gilberto Caldeira Bandeira de Melo pela oportunidade concedida e confiança.

RESUMO

Pretende-se com este trabalho contribuir com o estado da arte relacionado as emissões de GEE oriundas de reservatórios de usinas hidrelétricas. Para tanto realizou-se uma ampla pesquisa bibliográfica através da literatura já publicada, identificando as lacunas existentes e os principais entraves teóricos ou metodológicos.

Reservatórios de água são utilizados para diferentes propósitos, entre eles a geração de energia elétrica. A conversão de áreas de superfície terrestre para se criar corpos d'água pode provocar a emissão de gases de efeito estufa (GEE), tais como o metano e dióxido de carbono. Vários aspectos influenciam na taxa dessas emissões, como a vegetação que foi alagada, velocidade do vento, temperatura, saturação de oxigênio e profundidade. Diante disto torna-se evidente a necessidade de se compreender a fundo a real influência das barragens relacionadas ao aquecimento global.

Não existe uma metodologia amplamente aceita para estimativa de emissões de GEE de reservatórios existentes ou planejados. Fica evidente que para minimizar as incertezas sobre o assunto torna-se necessário a realização de estudos de monitoramento por longos períodos de tempo, para se caracterizar a curva de comportamento das emissões, uma vez que as medidas experimentais de uma área de estudo podem fornecer apenas uma visão parcial sobre o assunto, e também pelo fato de reservatórios apresentarem suas particularidades. Avanços na determinação da quantificação desses gases são essenciais uma vez que servirão de base para decisões políticas a serem tomadas. Também é necessário que se melhore a disposição de informações e ferramentas para apoiar decisões sólidas sobre o estado atual de GEE relacionado aos reservatórios. Com isto poderá ser adotada as medidas de mitigação necessárias.

Palavras-chave: Emissão de gases de efeito estufa; Hidrelétrica; Mudança do clima; carbono; metano; dióxido de carbono.

ABSTRACT

This paper aims to contribute to the state of the art related to greenhouse gas emissions which come from hydroelectric reservoirs. To this end a broad literature search was developed through the already published literature, identifying gaps and major theoretical or methodological barriers.

Water reservoirs are used for different purposes, including generating electricity. The conversion of areas of land surface to create water bodies can cause the emission of greenhouse gases (GHGs) such as methane and carbon dioxide. Several aspects influence the rate of these emissions, such as vegetation that was flooded, wind speed, temperature, oxygen saturation and depth. Before this becomes evident the need to thoroughly understand the real influence of the dams related to global warming.

There isn't a widely accepted methodology for estimating GHG emissions from existing reservoirs or planned. It is evident that to minimize the uncertainties about it becomes necessary to conduct monitoring studies for long periods of time, to characterize the behavior of the emissions curve, since the experimental measurements from an area of study can provide only a partial view on the subject, and also because reservoirs present their particularities. Advances in determination of the quantification of these gases are essential because it will provide a basis for policy decisions to be taken. It is also necessary to improve the provision of information and tools to support sound decisions about the current state of greenhouse gases related to tanks. With this required mitigation measures may be adopted.

Keywords: Emission of greenhouse gases, hydroelectric, Climate change, carbon, methane, carbon dioxide.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTE DE TABELAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 METODOLOGIA	15
5 GASES DE EFEITO ESTUFA.....	16
5.1 O que são.....	16
5.2 Principais Gases de Efeito Estufa	17
5.3 Efeitos do aumento de GEE na atmosfera	19
6 EMISSÕES DE GEE DOS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS	22
6.1 Estudos realizados sobre emissões de GEE provenientes de reservatórios	22
6.2 Ciclo do carbono	28
6.3 Variáveis que influenciam nas emissões dos reservatórios	32
6.4 Produção de GEE por reservatórios.....	33
6.5 Processos de emissão de gases.....	36
7 CONCLUSÕES.....	39
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
9 ANEXOS.....	43
9.1 Comparação das emissões das hidrelétricas com as de suas termelétricas equivalentes	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Processo de aquecimento da superfície terrestre.	17
Figura 2 -	Comparação do aumento da temperatura considerando-se diferentes escalas de tempo.....	20
Figura 3 -	Fluxo de dióxido de carbono e metano em uma bacia hidrográfica.	30
Figura 4 -	Diagrama simplificado do ciclo do carbono de um lago.	31
Figura 5 -	Sistema simplificado do fluxo de CO ₂ em lagos.	34
Figura 6 -	Fluxo de metano e dióxido de carbono em um lago sob condições anaeróbicas. ...	36
Figura 7 -	Evolução da Formação Bruta de fluxo de CO ₂ na interface ar-água em reservatórios boreais da província de Quebec.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Emissões de gás carbônico.	11
Tabela 2 -	GEE, respectivas fórmulas e potencial de aquecimento global.....	18
Tabela 3 -	Evolução da concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera.	19
Tabela 4 -	Dados das hidrelétricas estudadas durante o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE.	25
Tabela 5 -	Emissões de carbono e metano por região. Os números entre parênteses representa a quantidade de reservatórios estudados para cada gás em seu relativo processo de emissão.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

COPPE: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

GEE: Gases de Efeito Estufa.

IPCC: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas das Nações Unidas.

MCT: Ministério de Ciência e Tecnologia.

PAG: Potencial de Aquecimento Global

PCH: Pequena Central Hidrelétrica.

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro

UHE: Usina Hidrelétrica.

1 INTRODUÇÃO

Há um grande número de evidências em diferentes partes do globo que confirmam a atual tendência sobre o aquecimento global, provocada por influências humanas na alteração global do ciclo de carbono (SOBEK, 2005).

Alguns gases presentes no ar podem absorver temporariamente luz infra-vermelha térmica de comprimentos de onda específicos, de forma que nem todo infra-vermelho emitido pela superfície da Terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Logo após sua absorção pelas moléculas presentes no ar, como o CO_2 , a luz infravermelha é reemitida em todas as direções de modo completamente aleatório. Deste modo, uma parte do infra-vermelho térmico é direcionado de volta em direção à superfície, sendo reabsorvida, e conseqüentemente provocando o aquecimento adicional tanto da superfície como do ar. O fenômeno de direcionamento ou desvio do infra-vermelho térmico em direção à Terra é chamado de efeito estufa, e é responsável pelo fato da temperatura média da superfície da Terra ser de aproximadamente $+15^\circ\text{C}$, em vez de -15°C (BAIRD, 2002).

Os GEE são fundamentais para a manutenção da temperatura da Terra, pois através de suas propriedades físico-químicas este calor é retido na atmosfera. O problema alarmado é o excesso da concentração destes gases, que causam o desequilíbrio climático. O aumento das emissões dos GEE ocasiona a mudança global do clima, tema muito discutido na atualidade e difícil de ser compreendido pela sua complexidade. Dentre os principais gases causadores deste efeito estão o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

O efeito estufa está intimamente associado à elevação do consumo de energia. Adquire, portanto, importância fundamental o estudo e a análise da futura utilização das fontes de energia. Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético (tabela 1). Isto advém do fato deste ser um país tropical com invernos moderados, e por aproximadamente 45% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis.

Tabela 1 - Emissões de gás carbônico.

Indicador	Brasil	EUA	Japão	América Latina	Mundo
t CO ₂ /hab	1,78	19	9,49	2,14	4,28
t CO ₂ / tep OIE	1,48	2,45	2,3	1,83	2,39
t CO ₂ / 10 ³ US\$ de PIB ¹	0,43	0,51	0,24	0,54	0,74
t CO ₂ / km ² de superfície	39	622	3.236	46	136

Nota: US\$ em valores correntes de 2000. Fonte: BEN, 2009.

Mais de 80% da energia elétrica brasileira é gerada por usinas hidrelétricas (BEN, 2009). Reservatórios de água desempenham um importante papel no ciclo global dos recursos hídricos. Estes têm sido construídos pelo homem há centenas ou até mesmo milhares de anos com diferentes objetivos, incluindo controle de inundações, suprimento de água, irrigação, recreação, navegação, pesca e geração de energia. Contudo, foi somente nas últimas décadas que o número de barragens aumentou significativamente, atingindo um número estimado de 50 mil grandes represas em funcionamento mundialmente. Apesar de não haver estudos detalhados sobre o potencial de acúmulo de água relativo a pequenas represas, acredita-se que estas juntas podem armazenar aproximadamente o mesmo volume total acumulado pelas grandes.

Segundo Poff et al. (2007) *apud* Lehner (2008) barragens alteram as condições hidrológicas da bacia hidrográfica, mudando o regime do fluxo de água, sua qualidade e o transporte de sedimentos. Estas alterações podem comprometer a integridade hidro-ecológica dos sistemas fluviais afetados, provocando até mesmo a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Apesar de serem consideradas renováveis, estas usinas são responsáveis por grandes debates relativos às enormes áreas que necessitam de serem alagadas, causando grande impacto ambiental, econômico e social no local de implantação.

Até o presente, aproximadamente 30% da capacidade hidroelétrica do Brasil tem sido explorada. Projetos de usinas de grande escala estão concentrados nos rios da região Sudeste, especificamente nas bacias hidrográficas do Tietê, Rio Grande, Paranapanema e Paraná – todas estas sub-bacias da bacia do Rio Prata, com 3.000.000 Km² (TUNDISI et al., 2003). Segundo

Rosa et al. (2004) existe no Brasil mais de 400 barragens de médio e grande porte, gerando cerca de 93% da sua eletricidade, localizadas entre o Equador e a latitude de aproximadamente 30° S.

As usinas termelétricas apresentam também grande contribuição na geração de energia para o Brasil, utilizando como comburentes principais o gás natural, o óleo combustível ou o carvão mineral. A queima destes em plantas térmicas produz principalmente gás carbônico (CO₂), enquanto nos reservatórios de hidrelétricas a principal fonte do gás é a decomposição bacteriana (aeróbico e anaeróbico) de material orgânico que produz CO₂ e CH₄ respectivamente. Como consequência, a determinação do efeito líquido da substituição de uma hidrelétrica por uma planta de geração térmica (ou vice-versa) requer um estudo das emissões potenciais de cada tecnologia e uma comparação do efeito de estufa do CH₄ relativo a CO₂.

Muito se debate sobre as responsabilidades dos países com relação ao combate à mudança climática. Devido à diferença de interesses e complexidade dos acordos, os avanços têm sido graduais. Além disto, em alguns países, o assunto nem sempre é abordado na profundidade necessária, já que estas nações estão, muitas vezes, resolvendo problemas do século passado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo de ser uma contribuição ao estado da arte relacionado as emissões de GEE oriundas de reservatórios de usinas hidrelétricas.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter uma base de dados aprofundada e confiável a respeito do assunto tendo como referência a bibliografia produzida;
- Compreender os processos que influenciam nas emissões de GEE em barragens de hidrelétricas;

- Avaliar o real impacto destas emissões;
- Listar processos e indicadores-chave relacionados às emissões de GEE em barragens;
- Compreender em que condições o reservatório é fonte ou sumidouro de GEE.

3 JUSTIFICATIVA

Aproveitamentos hidrelétricos forneceram em 2005 cerca de 5,3% da energia no mundo, e em alguns países como Nova Zelândia, Noruega e Brasil estas proporções foram muito maiores. Embora haja considerável potencial de aumento no fornecimento de energia desta fonte, por exemplo, na China e na Índia, há grandes preocupações a cerca dos impactos ambientais e sociais de grandes barragens sobre os pescadores, populações deslocadas, ecossistema fluvial e outras fontes.

Hidrelétricas foram consideradas por bastante tempo uma forma limpa de produção de energia elétrica, funcionando como um sistema autótrofo, onde a produção primária excede a respiração bacteriana, atuando assim como um sumidouro de carbono, sendo isto benéfico visto o impacto neste aspecto causado por outras fontes energéticas. Porém, após estudos, iniciaram-se as evidências de que estas poderiam ser emissoras de GEE, atuando na verdade como sistemas heterotróficos. Isto se deve à decomposição da matéria orgânica presente no momento de enchimento da barragem ou carreada pelo fluxo de água da bacia hidrográfica. Dependendo da situação, novas barragens podem levar anos ou décadas para causar uma redução líquida nas emissões de carbono. Isto representa uma fração da contribuição antropogênica ao aquecimento global.

Segundo Fearnside (2009), embora hoje seja amplamente reconhecido que represas hidrelétricas emitem GEE, muita discordância permanece sobre as questões de quanto e quando é emitido, de que fontes são derivados os gases e quanto desta emissão é uma contribuição líquida ao efeito estufa. Estas diferenças têm implicações significantes para as políticas públicas e as diferenças conduzem a conclusões discrepantes, como se há um benefício climático para determinada represa hidrelétrica quando comparado com a eletricidade gerada por combustíveis fósseis.

Os principais gases produzidos nos reservatórios são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), que interagem com a radiação infravermelha na atmosfera intensificando o efeito estufa natural (SBRISIA, 2008).

Existe uma lacuna no entendimento dos mecanismos de regulação do ciclo de carbono em sistemas de águas continentais, impedindo uma avaliação mais profunda no significado deste ciclo em nível global, e a real contribuição deste ciclo para o aquecimento global (SOBEK, 2005). As pesquisas sobre este assunto são bastante superficiais, tanto local como globalmente. No Brasil foram realizados levantamentos em barragens localizadas em diferentes regiões. A escolha destas barragens levou em consideração alguns critérios, tais como latitude geográfica, idade, atividade antropogênica, preservação das condições naturais e tempo de residência de água. Estas pesquisas levaram em consideração principalmente hidroelétricas de grande porte. Pouco se sabe a respeito das emissões em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Estas possuem particularidades que os diferem dos grandes reservatórios, como tamanho da área alagada, profundidade, tempo de residência da água e insolação. Com isto aumentam-se as variáveis e incertezas do real impacto de cada aproveitamento hidrelétrico relacionado ao aquecimento global.

Um problema permanece, no entanto, sobre a forma de comparar adequadamente a contribuição relativa de vários GEE, de modo a ajudar a determinar o impacto global de diferentes tecnologias energéticas (HARVEY, 1993 *apud* ROSA, 2000). Além disto, divergências entre pesquisadores têm ocorrido, por exemplo, sobre quais são as metodologias mais adequadas para se utilizarem nas medições de emissões. Diante dos fatores citados anteriormente torna-se necessário um maior entendimento deste assunto, e este estudo tem o intuito de contribuir neste aspecto.

4 METODOLOGIA

Foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica através da literatura já publicada, identificando as lacunas existentes e os principais entraves teóricos ou metodológicos.

Para otimizar o processo foi levantados os aspectos que se pretendia abordar sobre o tema. Para isto elaborou-se um esquema provisório de revisão de literatura, onde foram listados de forma lógica as abordagens que se pretendia fazer referente ao tema. Este esquema serviu de guia no processo de leitura e na coleta de informação dos textos.

Após isto realizou-se o levantamento bibliográfico. Para nortear as ações utilizou-se obras de referência, melhorando a eficácia e para que se pudesse obter a maior quantidade de informações possíveis.

Com o devido material de orientação foi elaborado a monografia. Nesta etapa foi lido e analisado o conteúdo obtido nas etapas anteriores, e sempre que necessário buscou-se informações complementares.

5 GASES DE EFEITO ESTUFA

5.1 O que são

A radiação solar aquece o nosso planeta naturalmente. Em termos médios globais, a terra irradia aproximadamente a mesma quantidade de energia que provém do sol, pois há uma parcela de energia na Terra cuja origem não é solar, tais como as da fissão nuclear, a geotérmica e a associada à rotação da Terra (SANTOS, 2000).

Quanto mais baixa a temperatura de um corpo, maior será a tendência de emitir calor na faixa de longo comprimento de onda. Assim, a Terra tende a irradiar no comprimento de onda infravermelho por ser um corpo muito mais frio do que o Sol, e este, por sua vez, emite energia principalmente com comprimento de onda curto. As moléculas dos GEE presentes na atmosfera terrestre interagem muito pouco com a radiação eletromagnética solar, mas absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra. Estas se excitam e reemitem a quantidade de energia na forma térmica para a atmosfera.

A superfície da Terra irradia para a atmosfera uma média de 390 W/m^2 de energia na forma de radiação infravermelha. Deste total, 240 W/m^2 passam pela atmosfera e conseguem chegar ao espaço, enquanto 150 W/m^2 são absorvidos e reemitidos de volta pelos gases naturais de efeito estufa. Em termos gerais, o efeito estufa natural pode ser definido como estes 150 W/m^2 de radiação infravermelha que as moléculas dos GEE aprisionam e reemitem para a Terra. Este fenômeno mantém naturalmente a superfície da Terra aquecida em torno de 33°C em termos médios (IPCC, 1995 *apud* SANTOS, 2000).

Os GEE desempenham uma função similar ao vidro ou plástico transparente em uma estufa artificial, permitindo a passagem da radiação luminosa (e outras formas de radiação do espectro eletromagnético) e interagindo a nível molecular com a energia térmica, através da radiação eletromagnética que é reemitida pela Terra e por outros corpos negros para a atmosfera.

Com o céu claro, em torno de 60-70% do efeito estufa natural é provocado pelo vapor d'água, gás de efeito estufa dominante na atmosfera terrestre. As nuvens refletem boa parte da radiação solar de volta para o espaço pelas superfícies brancas, promovendo um efeito contrário ao das moléculas dos gases causadoras do efeito estufa. Em termos gerais, as nuvens têm um efeito de esfriamento de aproximadamente 20 W/m^2 , fruto do balanço entre a energia que elas refletem diretamente para o espaço e a energia que elas aprisionam (IPCC, 1995 *apud* SANTOS, 2000). A Figura 1 ilustra o processo de efeito estufa.

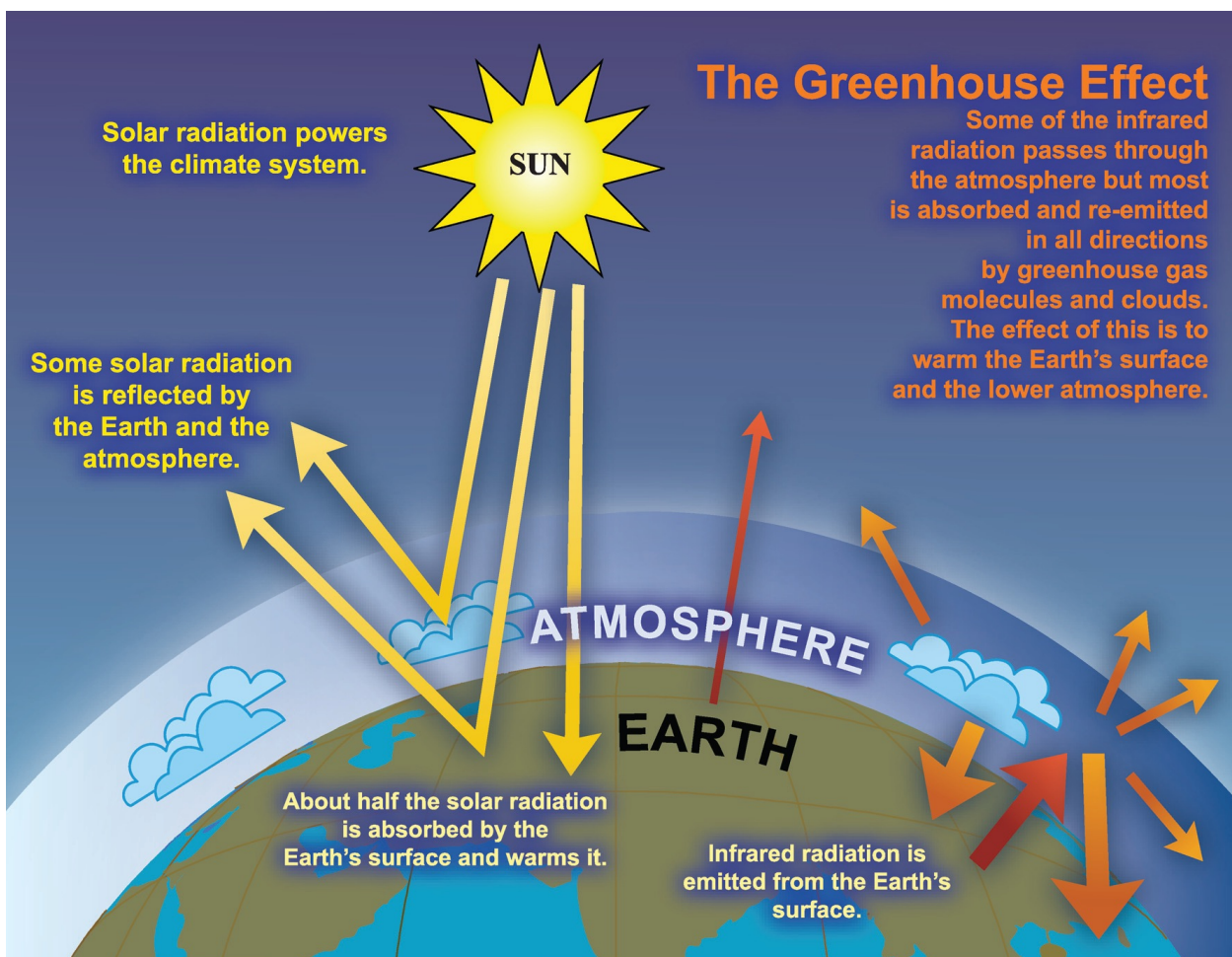


Figura 1 - Processo de efeito estufa. Fonte: IPCC (2007)

5.2 Principais Gases de Efeito Estufa

A atmosfera terrestre é composta essencialmente por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). Apenas 1% é formado por outros gases, entre eles o gás carbônico (CO₂) e o vapor d'água (H₂O)g. O vapor d'água troposférico é o gás com maior consequência individual na geração do aquecimento global, mas sua concentração atmosférica é principalmente devida a fontes naturais, como a evapotranspiração. O dióxido de carbono é naturalmente adicionado à atmosfera através das explosões vulcânicas e por processos de respiração celular dos organismos vivos. Durante o passado geológico do planeta, as emissões naturais, em especial destes dois gases, proporcionaram a manutenção das condições de temperatura na superfície terrestre.

Entre os exemplos mais conhecidos de GEE temos o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonos (CFCs). Gases como os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO), os halocarbonos e outros de origem industrial como o hidrofluorcarbono (HFC) e o perfluorcarbono (PFC) também são exemplos de GEE. Na tabela 2 é apresentado o Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos principais GEE. Este potencial é o índice que representa o efeito combinado do tempo de permanência de um certo gás na atmosfera e de sua eficiência relativa de absorção da radiação infravermelha, e representa a contribuição efetiva de cada substância ao aquecimento global. O gás de referência geralmente adotado pelo IPCC é o CO₂, por ser o gás dominante na emissão por fontes antropogênicas, sendo desta forma o de maior interesse para considerações políticas.

Tabela 2 - GEE, respectivas fórmulas e potencial de aquecimento global.

Greenhouse gases	Chemical formula	Global warming potential (GWP) *
Carbon-dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	21 **
Nitrous oxide	N ₂ O	310
CFC-12	CCl ₂ F ₂	6200-7100 ****
HCFC-22	CHClF ₂	1300-1400 ****
Perfluoromethane	CF ₄	6 500
Sulphur hexa-fluoride	SF ₆	23 900

Fonte: <http://www.carbonobrasil.com.br/resource/docs/gwp12/inf01.pdf>. Acesso em 12/07/2010

De acordo com o quarto relatório do Grupo de Trabalho 1 do IPCC (2007), as concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde 1750, e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais determinados com base em medições de núcleos de gelo de milhares de anos. A evolução dos níveis de concentração de cada GEE é apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Evolução da concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera.

	CO ₂	CH ₄	CFC-11	N ₂ O
PRÉ-INDUSTRIAL 1750-1800	280 ppmv	0,8	0	288 ppbv
NÍVEL ATUAL	353 ppmv	1,72 ppmv	280 pptv	310 ppbv
TAXA ATUAL DE CRESCIMENTO	0,50%	0,90%	4%	0,25%
VIDA MÉDIA NA ATMOSFERA (Anos)	50-200	10	65	150

Fonte: UNEP, 1997. Obs.: ppmv= partes por milhão por volume, ppbv= partes por bilhão por volume; pptv= partes por trilhão por volume

Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Isto ocorre porque, além da imensa frota automobilística existente no mundo ser predominantemente acionada por motores que usam combustíveis derivados de petróleo, mais da metade da matriz elétrica mundial é movida por carvão e petróleo. Os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso na atmosfera são devidos principalmente à agricultura.

5.3 Efeitos do aumento de GEE na atmosfera

A alteração da concentração de GEE poderá desencadear um aumento da temperatura média da Terra entre 1,8 e 4,0°C até o ano 2100. O relatório do IPCC (2007) considera que os próximos 20 a 30 anos serão cruciais para garantir que as temperaturas médias do Planeta não subam mais do que 2 e 2,4°C. Para esse objetivo ser alcançado, o IPCC estima que as emissões mundiais de GEE's deverão começar a decrescer a partir de 2015, de acordo com o cenário mais otimista. A Figura 2 demonstra o aumento da temperatura global quando se leva em consideração diferentes escalas de tempo.

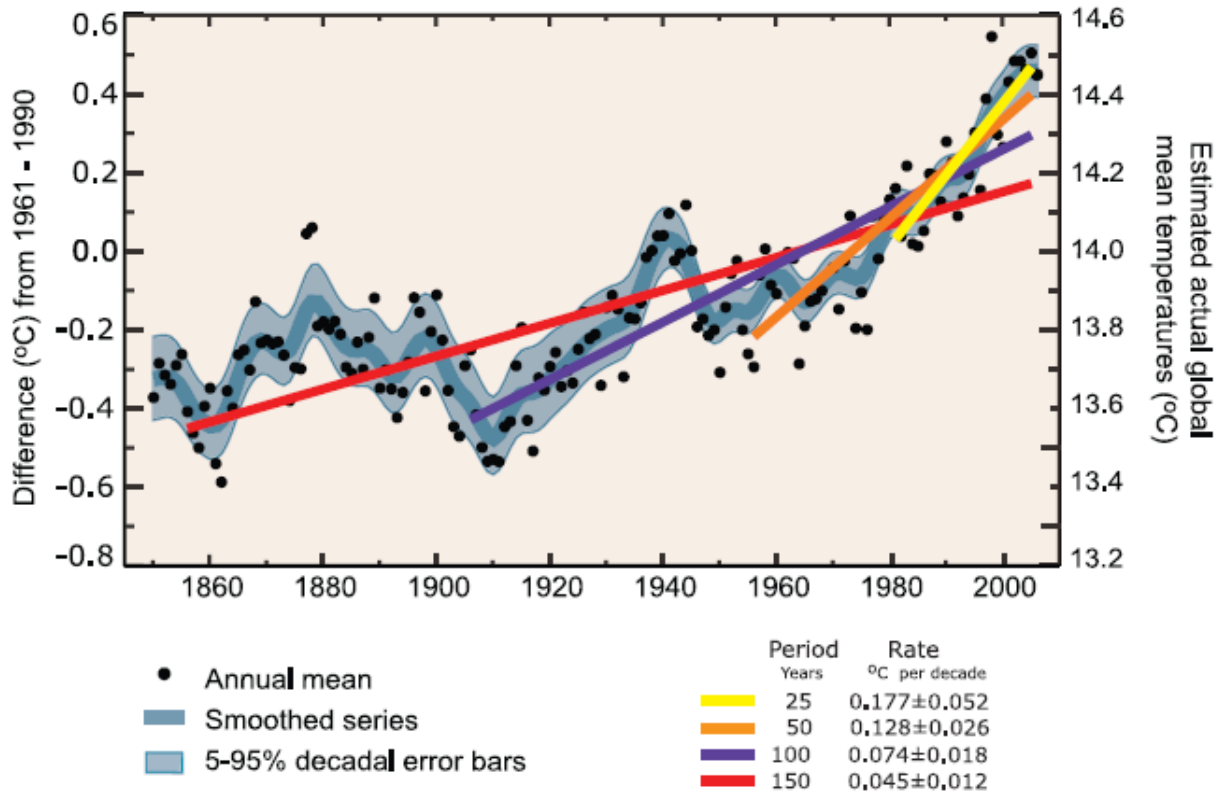


Figura 2 - Comparação do aumento da temperatura considerando-se diferentes escalas de tempo.

Fonte: IPCC (2007).

O aumento de GEE na atmosfera pode provocar perdas na agricultura; ameaça a biodiversidade; expansão de vetores de doenças endêmicas; aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas; mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica, a disponibilidade e a qualidade da água; possibilidade de aumento da erosão e o rebaixamento do solo. Além disso, a elevação do nível do mar, acompanhada pelo aumento na ocorrência das fortes tempestades, pode vir a afetar regiões costeiras, em particular grandes regiões metropolitanas litorâneas.

Há um acúmulo de evidências que mostram que a mudança climática já está acontecendo, deixando o planeta mais vulnerável. Todas as interferências causam diferentes impactos nos continentes agindo diretamente sobre o nível de vulnerabilidade destes. Segundo o IV Relatório do IPCC (2007) todos os continentes terão seus níveis de vulnerabilidade alterados. Para a América Latina é previsto:

a) Reduções de água no solo que podem acarretar uma substituição gradual da floresta tropical por savana no Leste da Amazônia. A vegetação semi-árida tenderá a ser substituída por vegetação de terras áridas. Perda significativa da biodiversidade por causa da extinção de espécies em muitas áreas;

b) Salinização e desertificação de terras agrícolas. Algumas culturas importantes diminuiriam bem como a produtividade da pecuária, com conseqüências adversas para a segurança alimentar. Nas zonas temperadas, projeta-se um aumento das safras de soja;

c) A elevação do nível do mar pode provocar um risco maior de inundações nas áreas de baixa altitude. O aumento da temperatura da superfície do mar decorrente da mudança do clima terá efeitos adversos nos recifes de corais mesoamericanos e acarretará mudanças na localização dos estoques de peixes do Sudeste do Pacífico;

d) Projeta-se que as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento das geleiras afetem de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia;

e) Alguns países promoveram esforços para se adaptar, particularmente por meio da conservação de ecossistemas importantes, sistemas de alerta rápido, gerenciamento de riscos na agricultura, estratégias de gestão de inundações, secas e gestão costeira e sistemas de vigilância para doenças.

Devido ao contexto atual de possibilidades de impacto global ocasionados pelo acúmulo de GEE na atmosfera, torna-se necessário que todos empreendimentos sejam avaliados com relação ao seu potencial de contribuição ao aquecimento global.

6 EMISSÕES DE GEE DOS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS

6.1 Estudos realizados sobre emissões de GEE provenientes de reservatórios

O problema da emissão de gases de efeito estufa por reservatórios começou a ser discutido na literatura acadêmica no início da década de 1990. As hidrelétricas passaram a ser alvo de intensas especulações a respeito de que seus reservatórios estariam contribuindo para a intensificação do

efeito estufa, através da liberação de gases como produto da decomposição de material orgânico em sua bacia de acumulação (SANTOS et al, 2008). Estes gases produzidos seriam: CO₂, CH₄ e N₂O, gases de origem biogênica que comprovadamente interagem com a radiação infravermelha na atmosfera causando a intensificação do efeito estufa (IPCC, 2001 *apud* SANTOS et al, 2008).

Em 1992 realizou-se a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida como Rio-92. Este foi um marco no trato das questões ambientais globais. Neste evento as atenções se focaram nas questões ambientais de interesse global. A Eletrobrás participou do evento e tomou a iniciativa de desenvolver ações no sentido de internalizar os princípios da Conferência no planejamento estratégico de longo prazo do setor elétrico pelo qual, à época, era responsável.

De forma a investigar o assunto, a partir do contrato entre Eletrobrás e COPPE/UFRJ em 1993, medidas de fluxos de gases (CO₂ e CH₄) foram realizadas nas hidrelétricas de Balbina, Tucuruí e Samuel, a fim de definir e validar procedimentos de amostragem, coleta e análises laboratoriais. Foi observada a forte presença de CH₄ emitido em bolhas, sendo esta ainda mais elevada nos reservatórios mais recentes (ROSA et al, 1996). A situação mais extrema na emissão de GEE foi registrada em Balbina, onde as emissões calculadas foram mais altas do que as de uma termelétrica a carvão que gera a mesma energia. A usina de Tucuruí emitia bem menos gases do que uma termelétrica equivalente, mesmo a gás natural com ciclo combinado (ROSA et al, 1996; ROSA et al, 1997). Pesquisadores do INPA (Instituto de Pesquisas da Amazônia), com base em estimativas das emissões de Balbina, discordaram dos resultados apresentados (FEARNSIDE, 1995; FEARNSIDE, 1996).

Nesta mesma época, foi realizada uma comparação das emissões de futuras hidrelétricas com as de termelétricas que poderiam ser construídas em lugar das primeiras (ROSA et al, 1996), considerando dados sobre densidade de biomassa e as características técnicas das usinas. Assumiu-se que parte da biomassa submersa pelo enchimento do reservatório se decompõe em tempo relativamente curto, decaindo exponencialmente em poucos anos; enquanto troncos e galhos grossos permanecem decompondo-se muito lentamente, somando essas emissões àquelas que o lago terá continuamente por toda a sua vida (ROSA et al, 1996 *apud* SANTOS et al, 2008).

O principal problema encontrado foi comparar os efeitos de emissões que variam no tempo (das hidrelétricas) com taxas quase constantes de emissão por toda vida útil (das termelétricas).

Em 1997, foi feito um experimento no reservatório de Curuá-Una, com participação da COPPE/UFRJ, da USP São Carlos e da Universidade de Quebec, com a ajuda da UFPA e apoio do CNPQ/MCT. Este representou um grande avanço metodológico uma vez que as equipes dos dois países passaram a medir o fluxo de gases de maneira uniforme, através de bolhas e por difusão na superfície da água.

No mesmo ano, Furnas Centrais Elétricas S.A. contratou um estudo visando a medição de CO₂ e CH₄ no reservatório de Serra da Mesa, cujas comportas haviam sido fechadas há pouco. Itaipu Binacional também apresentou esta demanda e um estudo semelhante foi feito no lago de Itaipu, objetivando a determinação das emissões brutas de GEE.

Em 1998, pesquisadores da COPPE/UFRJ, com o apoio da Eletrobrás, do MCT e do PNUD, iniciaram um estudo mais abrangente sobre as emissões de GEE envolvendo sete diferentes reservatórios, distribuídos ao longo de diferentes biomas e latitudes do país. Além destes reservatórios estudados também foram utilizados os dados de Serra da Mesa e Itaipu.

Durante o desenvolvimento dos trabalhos anteriormente citados, muitas questões foram levantadas, entre elas: a extrapolação de um dado para outra área do reservatório e de um reservatório para outro, o comportamento das emissões no tempo, as emissões líquidas versus emissões brutas, a origem da matéria orgânica (autóctone ou alóctone), dentre outras (Santos et al, 2008).

Uma destas questões – o comportamento das emissões ao longo do tempo – motivou a continuidade dos estudos pela COPPE, a partir de um convênio com a ANEEL em 2001. Investigou-se com mais detalhes, no decorrer de um ano de trabalho, as emissões de CO₂ e CH₄ em dois reservatórios já estudados anteriormente – Xingó e Miranda –, de forma a examinar o comportamento e a dinâmica das emissões de GEE.

O conhecimento do volume de emissões naturais em um determinado local onde deverá ser formado um novo reservatório possibilita o cálculo das emissões líquidas de GEE, isto é, o

volume real de GEE atribuído ao reservatório. Com este propósito, a Eletrobrás, juntamente com a COPPE, implementou o projeto “Emissões de GEE do Reservatório Hidrelétrico de Belo Monte – Fase de Pré-enchimento do Reservatório”, com medições em duas campanhas de campo (27-31 outubro/2003 e 10-14 maio/2004). Foram monitoradas as emissões de GEE proveniente do rio Xingu (fase rio) e da área terrestre que deverá ser inundada pelo Complexo Hidrelétrico de Belo Monte; medidos os fluxos de metano, gás carbônico e óxido nitroso (CH₄, CO₂ e N₂O) emitidos naturalmente pelo Rio Xingu e por áreas terrestres (solos) dentro e adjacentes ao futuro reservatório (fase reservatório); avaliadas as concentrações de carbono (orgânico dissolvido, particulado e total) e metano na água, além do parâmetro físico-químicos e taxa de sedimentação de carbono no leito do rio.

Outro projeto foi iniciado em 2003 (com duração de 5 anos) com recursos da Lei 9991, aprovado e acompanhado pela ANEEL. Participam do projeto a COPPE/UFRJ, a Universidade de Federal de Juiz de Fora, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Foi realizado o balanço de massa de carbono em oito reservatórios de Furnas Centrais Elétricas S.A. durante três períodos hidrológicos distintos.

Algumas questões como as emissões naturais, que ocorreriam mesmo sem a formação do reservatório, e a extrapolação de dados amostrais de um ponto para todo o reservatório, ainda carecem de mais estudos.

No Brasil, como na maioria dos países que empenharam esforços para entender os efeitos das emissões de GEE em hidrelétricas, foi dada maior importância aos reservatórios de grande porte. Em 2006, o Ministério de Ciência e Tecnologia publicou o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE - Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros, com a proposta de estabelecer uma metodologia para contabilizar as emissões de GEE derivadas de diferentes reservatórios hidrelétricos brasileiros. Este relatório de referência contém a caracterização dos reservatórios estudados (Miranda (MG), Três Marias (MG), Barra Bonita (SP), Segredo (PR), Xingó (AL, BA, SE), Samuel (RO) e Tucuruí (PA)), a descrição dos trabalhos e da metodologia de coleta de campo, a análise de laboratório e dos dados, a apresentação dos resultados, os aspectos teóricos e os índices utilizados. A tabela 4 apresenta as características de cada reservatório analisado. As idades de

inundação dos reservatórios hidrelétricos vão de um a vinte anos, o que confere boa representatividade temporal ao estudo (MCT, 2006).

Tabela 4 - Dados das hidrelétricas estudadas durante o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE.

Usina	Latitude	Bioma	Potência (MW)	Área do Reservatório (km ²)	Densidade de Potência (W/m ²)
Miranda	18°55'S	Cerrado	390	50,6	7,71
Três Marias	18°13'S	Cerrado	396	1.040	0,38
Barra Bonita	22°31'S	Mata Atlântica	140,76	312	0,45
Segredo	25°47'S	Mata Atlântica	1.260	82	15,37
Xingó	9°37'S	Caatinga	3.000	60	50,00
Samuel	8°45'S	Amazônica	216	559	0,39
Tucuruí	3°45'S	Amazônica	4.240	2.430	1,74

Fonte: MCT (2006).

A medição experimental dos gases exalados pelos reservatórios foi empregada para determinar especificamente as emissões de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) tanto sob a forma de bolhas, que se desprendem do fundo do lago por efeito da decomposição da matéria orgânica, quanto transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão molecular. As medições, divididas em duas campanhas, consistiram na coleta de dados de fluxo dos gases, regime de ventos, temperatura e pH da água nos reservatórios pesquisados. (MCT, 2006).

Segundo dados do MCT (2006), concluiu-se que na medida em que a idade do afogamento aumenta o, a profundidade do local determina predominantemente a emissão por bolhas, embora afete pouco a difusão. Uma característica surpreendente constatada e que afeta a troca difusiva, incluindo a difusão e a absorção, foi a concentração do gás carbônico dissolvido na água, apresentando uniformidade numa grande faixa de latitudes, temperaturas, etc.

Observou-se neste inventário que há uma grande variação entre os dados de emissão de GEE. A intensidade de emissão de gases em um reservatório é alterada de acordo com algumas variáveis, tais como: temperatura, regime de ventos, insolação, parâmetros físico-químicos da água e a composição da biosfera. Segundo MCT (2006), para o caso do CO₂, essas influências podem

combinar-se de maneira a se perceber uma tendência de as taxas de emissão serem uma tênue função da latitude, de forma que em latitudes mais altas os reservatórios tenderiam a apresentar menores taxas de emissão. Porém tal ordenação não está sempre presente, como por exemplo para o metano. Além disto observou-se que emissões em áreas com vegetação diferente, como a floresta amazônica, caatinga ou cerrado não serem muito diferentes entre si, bem como a relativamente baixa correlação entre as emissões e a idade do reservatório, podem estar ligados ao fato de as emissões serem devidas não só à decomposição do estoque de biomassa terrestre preexistente, mas também da matéria orgânica da bacia de drenagem a montante e da matéria orgânica internamente produzida no lago.

Em termos gerais, para o caso do metano emitido por bolhas, pode-se notar que todos os casos (exceto o caso de Três Marias) mostraram uma forte correlação entre o aumento da idade do reservatório e a diminuição do fluxo de gases, de forma que reservatórios mais jovens tendem a apresentar mais emissões por bolhas que os mais antigos. Já para o caso do dióxido de carbono emitido por bolhas, a situação mostra-se diferente. Além de apresentar níveis de emissão bastante inferiores em relação aos do metano (cerca de 100 vezes menor), não foi possível notar nenhum tipo de dependência com a idade do reservatório. A baixa presença do CO₂ nas bolhas pode ser explicada pela sua grande solubilidade na água, implicando desta forma, em baixa segregação do gás por bolhas.

Com os resultados, comparou-se as emissões das hidrelétricas pesquisadas com as emissões de termelétricas virtuais de potência equivalente, que gerassem a mesma quantidade anual de energia de cada hidrelétrica, empregando-se diferentes combustíveis e eficiências da tecnologia, desde a turbina a vapor empregando-se carvão e óleo combustível até a turbina a gás natural e a ciclo combinado. As hidrelétricas estudadas diferem de acordo com a potência por área inundada (W/m²), densidade de biomassa (tC/m²) e o fator de capacidade.

Avaliou-se a energia média gerada em um ano de funcionamento de cada hidrelétrica, tomando a sua capacidade instalada, expressa em MW, multiplicada por um fator de capacidade médio das hidrelétricas brasileiras, que gira em torno de 50% e o número de horas do ano (8.760), resultando na quantidade de energia gerada, expressa em MWh/ ano. Em lugar do fator de capacidade convencional, foi usado um fator, denominado de energia incremental, que leva em

conta o acréscimo da energia assegurada total do sistema interligado devido a cada usina hidrelétrica.

Para o cálculo do carbono emitido pela tecnologia termelétrica, a energia anual gerada pela hidrelétrica foi multiplicada pelo fator de emissão de carbono ligado a cada um dos combustíveis, expresso em tC/MWh, e dividida pela eficiência média de cada tecnologia. A eficiência variou de 30% a 37%, no caso do ciclo simples movido a óleo diesel, carvão mineral, gás natural ou óleo combustível, chegando a 50% no caso do ciclo combinado a gás natural.

No caso do cálculo das emissões das termelétricas a gás natural (basicamente metano), foram consideradas as emissões fugitivas devidas principalmente às perdas no transporte e distribuição desse combustível. Segundo dados da Petrobras (1999), as emissões fugitivas são estimadas em 4,7% para o caso brasileiro. Este percentual, levando em consideração o PAG do CH₄ em relação ao CO₂, que é de 7,6 em unidades de massa de carbono para 100 anos (IPCC, 1996), reflete-se num aumento de 27% na emissão de carbono equivalente de CO₂.

No Anexo 1 está apresentada a tabela que resume a comparação das emissões das hidrelétricas com as de suas termelétricas equivalentes. Como se pode notar, há hidrelétricas (Itaipu, Xingó, Segredo) que emitem muito pouco carbono em comparação com suas térmicas equivalentes; há hidrelétricas intermediárias, como Miranda, e hidrelétricas que emitem bem mais carbono, como por exemplo Três Marias e Samuel. É importante ressaltar que, para cada caso, ainda não se tem quantificada a matéria orgânica continuamente drenada da bacia a montante para se poder separá-la da biomassa afogada pelo reservatório. Os resultados comparados focalizam, com maior evidência, que o problema deve ser investigado caso a caso, pois grandes variações podem ocorrer de uma hidrelétrica para outra.

O Banco Mundial publicou em 2008 um relatório preliminar sobre as emissões de GEE dos reservatórios hidrelétricos da Índia. De acordo com os termos de referência, o objetivo do trabalho é examinar os dados e as metodologias disponíveis para produzir uma estimativa das emissões líquidas de metano de reservatórios na Índia, ou para criar um leque de estimativas baseadas em hipóteses específicas.

A Associação Internacional de Hidrelétricas (IHA), em colaboração com o Programa Hidrológico Internacional da UNESCO, está, desde 2008, conduzindo o projeto de pesquisa sobre emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de água doce. O projeto deve durar até 2011 e tem por objetivo ampliar o entendimento sobre o impacto dos reservatórios nas emissões naturais de gases de efeito estufa, bem como potenciais medidas de mitigação que podem reduzir a emissão de gases de efeito estufa em locais vulneráveis. Para tanto, estão sendo realizadas rigorosas campanhas de medição de campo, avaliando as emissões líquidas de um conjunto representativo de reservatórios de água doce, e sendo desenvolvidas ferramentas de modelagem para avaliar o estado das emissões de reservatórios não monitorados e potenciais locais para novos reservatórios.

6.2 Ciclo do carbono

O carbono é o principal elemento dos seres vivos. Entretanto, segundo Sobek (2005), este elemento não está relacionado unicamente com transformações biológicas, mas também com processos geológicos e químicos, como o CO₂ dissolvido no oceano e gases liberados em erupções vulcânicas. Todo este carbono é trocado entre organismos, oceano, solo e atmosfera, relacionando toda a biosfera no ciclo global do carbono.

Este ciclo está intimamente relacionado com o sistema climático da Terra. O carbono presente na atmosfera constitui uma fração relativamente pequena, mas importante no processo de efeito estufa, à medida que tanto ele quanto o metano absorvem radiação infravermelha. Segundo dados do IPCC (2007), emissões de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis, com contribuições da indústria cimenteira, são responsáveis por mais de 75% das emissões deste gás desde a Revolução Industrial. O restante deste aumento é oriundo da mudança no uso da terra causado principalmente pelo desflorestamento e a associada queima da biomassa, com contribuições das alterações de práticas de agricultura.

O carbono emitido para a atmosfera pela superfície livre da água das barragens de hidrelétricas, em parte, é oriundo de material orgânico carregado das áreas ribeirinhas para o leito dos rios

afluentes e para os reservatórios hidrelétricos. Se este carbono, no caso da emissão de CO₂, for da biomassa, então ele foi anteriormente retirado da atmosfera, e portanto, sua emissão não tem contribuição incremental para o efeito estufa. Com isto surge a dificuldade de estimar todas estas contribuições, pois será necessário compreender todo o balanço de carbono naquela bacia (MCT, 2006). Uma questão geralmente desconsiderada é a necessidade de se saber qual a quantidade de emissão de GEE anteriormente a implantação da usina. Estas devem ser consideradas na contabilização das emissões totais do reservatório, juntamente com a biomassa total removida durante a supressão vegetal realizada para a inundação.

Lagos cobrem aproximadamente 0,5% da área total da Terra, mas os sedimentos de carbono orgânico são quase a metade do encontrado nos oceanos, que cobrem 71% da superfície da Terra. (DEAN and GORHAM, 1998 *apud* SOBEK, 2005). Por outro lado, lagos emitem o correspondente a 0,14 Pg C ano⁻¹ para a atmosfera, que podem ser comparados aos 0,4 Pg C ano⁻¹ (COLE et al. 1994 *apud* SOBEK, 2005). Além disto, estima-se que lagos emitem mais metano para a atmosfera que os oceanos, correspondendo de 6 a 16% das fontes naturais de metano (BASTVIKEN et al., 2004 *apud* SOBEK, 2005).

O maior obstáculo na avaliação das influências humanas no clima global é o conhecimento limitado dos principais aspectos no ciclo do carbono global, como o balanço metabólico do oceano (DUARTE E AGUSTI, 1998; WILLIAMS 1998; DEL GIORGIO AND DUARTE 2002; KARL et al. 2003; Sobek 2005).

Para se entender o ciclo do carbono na sua integridade é necessário que se quantifique as cargas de carbono autóctone e alóctone, compreender os processos biológicos e físico-químicos que envolvem este ciclo, seus efeitos combinados no metabolismo do lago, no processo de sedimentação e no fluxo de carbono para a atmosfera. Inicialmente pensava-se que os gases emitidos eram provenientes da decomposição da matéria orgânica autóctone presente no lago, porém somente isto não justificaria as altas emissões de GEE em alguns lagos. Com isto percebeu-se que a bacia hidrográfica como um todo tinha papel importante no fornecimento destes materiais ao lago. A Figura 3 apresenta o fluxo de dióxido de carbono e metano em uma bacia hidrográfica sob condições naturais. Segundo Svensson (2005) *apud* Sbrissia (2008), independente da origem, se a matéria orgânica do reservatório é continuamente renovada, e se a

decomposição da matéria orgânica resulta em emissões maiores de metano e dióxido de carbono do que haveria na ausência do reservatório, então as superfícies destes reservatórios serão sempre emissores líquidos de GEE para a atmosfera.

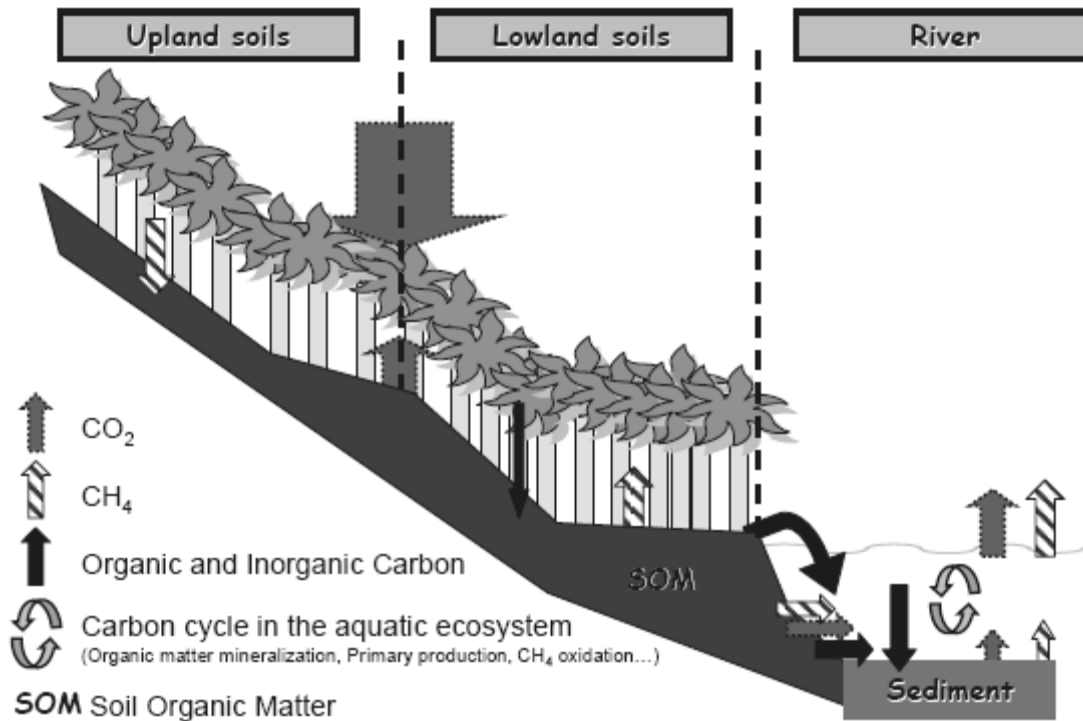


Figura 3 - Fluxo de dióxido de carbono e metano em uma bacia hidrográfica.

Fonte: UNESCO/IHA, 2008.

A Figura 4 representa um diagrama simplificado de um lago idealizado situado em uma bacia hidrográfica. As flechas pretas indicam os fluxos entre os sistemas. O carbono foi agrupado em quatro grupos, sendo estes: carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico no sedimento (CS). Este ciclo ocorre da seguinte maneira: (1) A Produção Primária Líquida (PPL) em sistemas terrestres resulta na acumulação de biomassa. (2) Parte da biomassa chega ao lago através da água superficial como COD, CID e COP. O carbono no lago recicla entre a forma orgânica e inorgânica. Produtores primários transformam CID em COP e excretam COD neste processo. A decomposição do COP produz CID e COD. A respiração microbiana e a foto-degradação mineraliza o COD na forma de CID. (3) Uma parte do COP do lago sedimenta. (4) O COP no

sedimento mineraliza lentamente e libera CID para a coluna de água no processo. (5) O gradiente da pressão parcial do CO_2 entre o lago e a atmosfera determina o Fluxo Atmosférico Líquido (FAL) do CID. (6) Todas as formas de carbono são transportadas para fora do lago através da água superficial. (7) O COD gerado por diagênese (transformação do carbono particulado para o carbono dissolvido) no sedimento é transformado em metano no sedimento anaeróbico. Devido ao fato de ser relativamente insolúvel na água, o gás metano produzido no sedimento é transportado diretamente para atmosfera na forma de bolhas. (SBRISSIA, 2008)

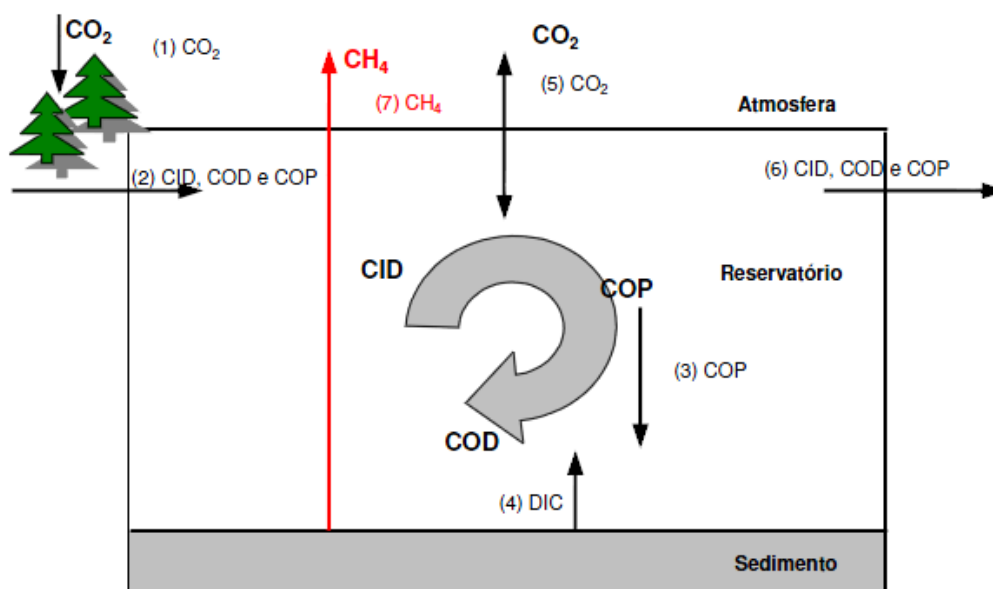


Figura 4 - Diagrama simplificado do ciclo do carbono de um lago.
Fonte: SBRISSIA, 2008.

Importante também neste processo é entender o balanço de carbono, que descreve o ciclo da matéria orgânica dentro de um ecossistema. O conhecimento destes dados é fundamental no estudo da biogeoquímica de vários tipos de ecossistemas. Com este é possível entender os possíveis destinos do carbono dentro da bacia hidrográfica, e conseqüentemente avaliar em que condições o ecossistema em estudo é uma fonte ou sumidouro de carbono.

6.3 Variáveis que influenciam nas emissões dos reservatórios

Alguns fatores influenciam na quantidade de GEE emitidos pelos reservatórios, tais como localização geográfica, tipo de vegetação do entorno, temperatura, sazonalidade, tamanho e profundidade do reservatório, profundidade da tomada de água das turbinas, operação da barragem, dentre outros. Todos estes elementos influenciam no ciclo biogeoquímico do reservatório que determina o padrão de emissão de um reservatório ao longo do tempo. A avaliação do fator de emissão de reservatórios, portanto, envolve muitas incertezas, principalmente quando se define um valor *default* para os reservatórios em todo mundo. (SBRISSIA, 2008). Além dos fatores citados acima, deve-se considerar também a quantidade de matéria orgânica presente na água.

Segundo St. Louis et al. (2000), um dos fatores mais importantes parece ser o clima da área onde está localizado a barragem. Os reservatórios localizados em áreas tropicais apresentam taxas de emissão maiores que aqueles situados em regiões boreais e temperadas. Uma razão possível para este fato é que a temperatura da água em regiões tropicais é muito mais alta, conseqüentemente, a taxa de decomposição da matéria orgânica é maior, elevando o fluxo de emissão do metano e do dióxido de carbono.

A idade do lago também tem sido considerado outro fator relevante. A princípio considerava-se que as emissões diminuiriam gradativamente com o passar dos anos. Segundo Sbrissia (2008), estudos recentes mostram que a emissão não diminui após os primeiros anos de operação do reservatório, mas permanecem constantes ao longo do tempo. Isto ocorre porque parte da vegetação demora muitos anos para se decompor, e também porque a decomposição das plantas aquáticas e algas faz com que o reservatório continue emitindo GEE ao longo do tempo. Outros fatores que devem ser levados em consideração, antes de chegar a alguma conclusão no que diz respeito à relação entre a emissão e o ciclo de vida do reservatório, são o tipo de ecossistema inundado e a quantidade de biomassa inundada.

Além destes fatos, há vários fatores que podem afetar a quantidade de GEE emitido em diferentes áreas do mesmo reservatório. Por exemplo, a quantidade de vegetação e o crescimento de plantas aquáticas em certas áreas do reservatório, que por sua vez dependem da quantidade de luz a que o

reservatório está exposto, como também, do clima e da estação do ano. Considera-se que a principal fonte de emissão de gases nos primeiros anos de operação da usina é oriunda da decomposição da biomassa inundada.

Em trabalho realizado pela Eletrobrás em 1993, observou-se que havia forte relação com tipo de ambiente e a taxa de emissão de metano por bolhas. Ao incluir dados de outros reservatórios, novas variáveis passaram a ser percebidas como importantes no estabelecimento do regime de emissão. Essas eram: profundidade do local, tipo de vegetação inundada, idade do afogamento, temperatura da água, regime de ventos e intensidade da correnteza. (MCT, 2006)

Uma das dificuldades sobre a extrapolação das emissões em reservatórios é saber qual a real emissão por área destes. Variando de acordo com os fatores mencionados anteriormente, a falta de controle destas variáveis e as dimensões das barragens fazem com que as pesquisas se limitem a valores aproximados.

6.4 Produção de GEE por reservatórios

A maioria dos lagos do mundo são supersaturados em CO₂, conseqüentemente emitindo este gás para a atmosfera (COLE et al., 1994 *apud* SOBEK, 2005). A emissão do excesso de CO₂ de lagos pode ser sustentada por vários processos, tanto bióticos quanto abióticos. Este gás pode ser transportado pela superfície da água ou por fluxos subterrâneos, chegando até os lagos. Estas águas geralmente apresentam grande concentração de CO₂, sendo assim importantes fontes deste gás para os rios.

Os gases emitidos pelos reservatórios se originam da decomposição de três fontes: da biomassa original inundada, da biomassa formada pelo processo de fotossíntese nas águas do reservatório e da matéria orgânica proveniente da bacia de drenagem do reservatório (SANTOS et al., 2005 *apud* SBRISSIA, 2008). Durante o processo de enchimento da barragem ocorre grande atividade bacteriana, resultando na emissão de GEE.

A Figura 5 representa um esquema simplificado do fluxo de CO₂ em lagos. O DOC (Carbono Orgânico Dissolvido) entra no lago, e é liberado para a água pelo fitoplâncton. O DOC é mineralizado para CO₂ pela respiração de bactérias heterotróficas (Bact), ou por reações fotoquímicas induzidas pela radiação ultravioleta (UV). A respiração das bactérias liberam CO₂ para a água. O acréscimo de CO₂ na superfície da água juntamente com a produção em seu interior contribuem para a concentração de CO₂ neste meio. O CO₂ é perdido do no meio pelo próprio fluxo de água, como também sendo capturado pelo fitoplâncton que utiliza-o durante a fotossíntese. A diferença na concentração entre o CO₂ presente na água e o atmosférico determinará se o CO₂ será capturado ou emitido no lago (SOBEK, 2005). Apesar de grande parte das trocas gasosas de CO₂ com a atmosfera ocorrerem na superfície, podem haver consideráveis emissões após a passagem da água pelas turbinas de geração de eletricidade.

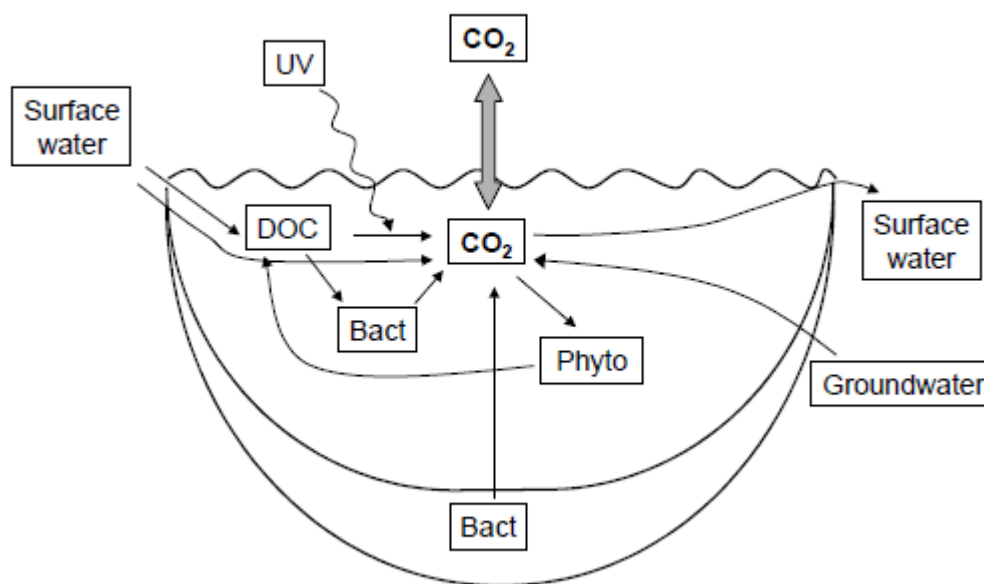


Figura 5 - Sistema simplificado do fluxo de CO₂ em lagos.

Fonte: SOBEK, 2005.

A matéria orgânica presente no fundo do reservatório passa a ser consumida por bactérias aeróbias, que demandam altas taxas de oxigênio. Quando ocorre o esgotamento deste gás no lago, inicia-se o processo anaeróbio. Segundo Santos et al. (2005) *apud* Sbrissia (2008), nos primeiros estágios da decomposição são produzidos ácidos orgânicos, os quais são decompostos originando

metano e dióxido de carbono. Nestes ambientes, o nitrogênio gasoso é também gerado pela decomposição de aminoácidos e desnitrificação.

Em regiões tropicais o tempo de retorno das emissões aos valores naturais em alguns casos é longo, dependendo das condições da qualidade das águas. Por exemplo, quando ocorrem condições anóxicas a produção de metano decresce lentamente, e pode ser mantida por longos períodos pelo acréscimo de carbono ao reservatório. Entretanto esta situação é rara na maioria dos reservatórios estudados (TREMBLAY et al.).

Em alguns reservatórios nota-se que o regime de operação também pode influir na emissão dos gases. Dependendo da operação da usina, o reservatório pode deplecionar-se de forma rápida, possibilitando que os braços dendríticos rasos sejam expostos periodicamente à colonização por vegetação terrestre. Essas regiões mostraram intensa metanogênese devido à decomposição de tal vegetação. Em termos gerais, pode-se dizer que o risco de emissões de GEE pode ser reduzido evitando-se a baixa densidade de potência na escolha dos reservatórios (W/m^2), e desmatando-se o reservatório antes da inundação (independentemente do ponto de vista econômico) (MCT, 2006). A Figura 6 representa o fluxo de metano e dióxido de carbono em um represamento de água de hidrelétrica submetido a condições anaeróbicas.

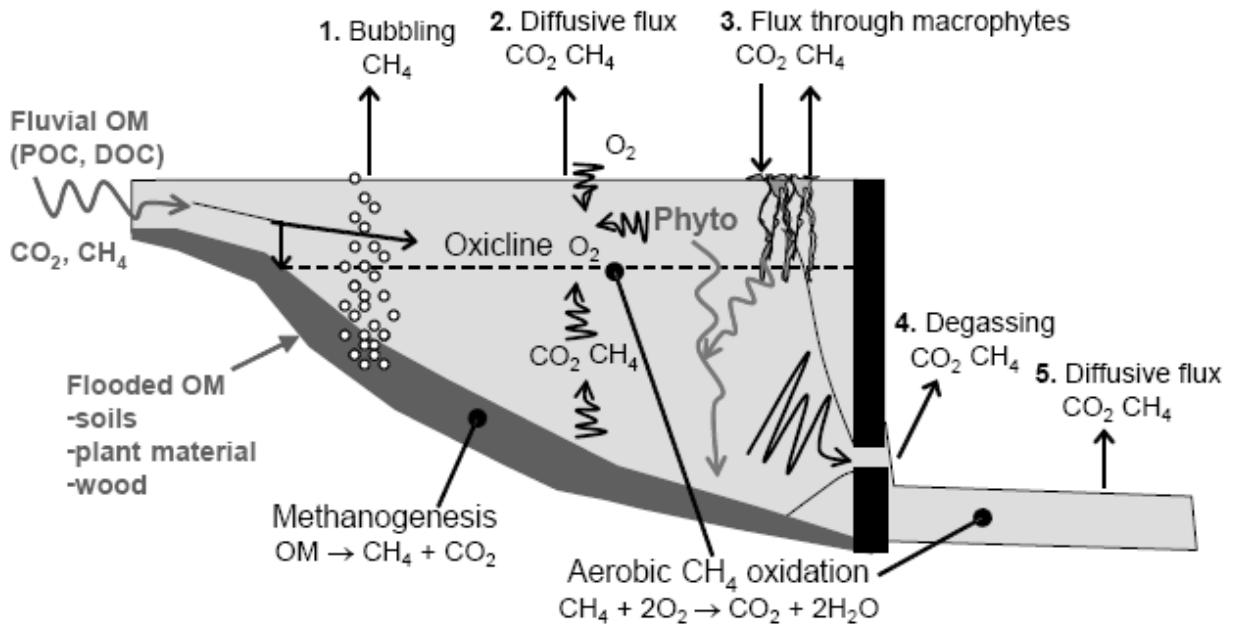


Figura 6 - Fluxo de metano e dióxido de carbono em um lago sob condições anaeróbicas.

Fonte: UNESCO/IHA, 2008.

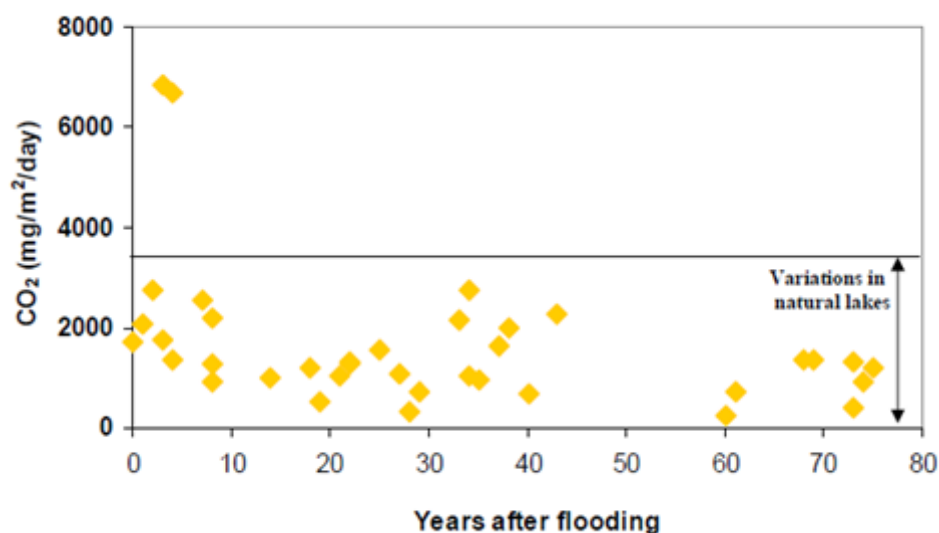
Os estudos relacionados às emissões de GEE em reservatórios tem dado maior importância ao gás metano. Em águas onde há boa oxigenação, não ocorre a produção de metano, mesmo com a presença de matéria orgânica, por não apresentarem condições anaeróbicas. Do ponto de vista do efeito estufa, o metano apresenta um impacto bem superior ao dióxido de carbono, sendo tipicamente gerado na ausência de oxigênio, fator que por sua vez dependem do tempo de residência da água no reservatório, para o material orgânico em suspensão. Porém o fundo de grande parte dos lagos apresenta condições anóxicas, propícias para a metanogênese.

6.5 Processos de emissão de gases

Na maioria dos estudos constatou-se que o dióxido de carbono é mais emitido por difusão. Porém, como este gás faz parte do ciclo natural do carbono, foram verificadas, em algumas medições, absorção de CO₂ pelo corpo d'água do reservatório, via fotossíntese da produção

primária do lago. No caso do metano, este gás sempre é emitido tanto por bolhas quanto por difusão molecular. (MCT, 2006)

Segundo Tremblay et al., a quantidade de GEE emitida na interface ar-água de reservatórios varia ao longo do tempo. O máximo é atingido dentro de 3 a 5 anos após represamento. Em reservatórios com mais de 10 anos nas regiões boreais e semi-áridas, emissões de GEE são semelhantes a de lagos naturais. Nas regiões tropicais, o tempo de retorno aos valores naturais pode ser maior dependendo das características da água. Em regiões boreais, logo após a inundação ocorre um pico inicial de emissão, conforme pode ser verificado na Figura 7.



A emissão de GEE logo após a inundação deve-se ao fornecimento de nutrientes, à atividade bacteriana e à decomposição avançada do carbono. A dimensão dessas emissões depende de características físico-químicas da massa de água e a entrada de carbono na bacia.

Os GEE são gerados no sedimento do reservatório e, inicialmente, ficam dissolvidos na água intersticial. O metano e nitrogênio gasoso, que são menos solúveis que o dióxido de carbono, se agregam em forma de bolhas. Estas bolhas crescem até um ponto que não conseguem mais ficar presas dentro do sedimento e, então, se soltam e migram para a superfície da água. O dióxido de

carbono tende a ficar retido na água porque é mais solúvel, mas uma fração pequena entra nas bolhas. Em águas rasas, parte do metano se difunde até a superfície. Geralmente, em profundidades maiores que 30 metros, todo metano pode ser emitido através do processo de difusão porque a pressão da coluna de água não possibilita a formação de bolhas. Nas camadas mais superficiais do reservatório, a concentração de oxigênio aumenta. As bactérias presentes nestas camadas do reservatório podem produzir dióxido de carbono a partir do metano e do oxigênio. Então, a camada oxigenada do reservatório funciona como sumidouro de metano. Da mesma maneira que a fotossíntese é um sumidouro para o dióxido de carbono (SANTOS et al., 2005 *apud* SBRISSIA, 2008).

Ebulição e difusão parecem não ser os únicos fenômenos de emissão de GEE por reservatórios. Estudos recentes mostram que um dos principais caminhos de emissão pode ser a difusão de gases quando a água passa na turbina da usina. Isto ocorre porque a turbina cria uma mudança brusca na pressão e temperatura da água, o que reduz a solubilidade do metano e do dióxido de carbono na água. Conseqüentemente, a maior parte do metano e dióxido de carbono presente na água antes de passar pela turbina é liberada para atmosfera assim que a água passa pela turbina. Apesar de ambos gases serem liberados quando a água passa pela turbina, a emissão do metano é mais acentuada neste processo. A razão para isso é que a concentração de metano cresce com a profundidade da coluna de água. A água que passa pela turbina é geralmente tomada na parte de baixo da barragem e contém uma concentração maior de metano (FEARNSIDE, 2002).

Conforme mencionado anteriormente, a localização geográfica influencia na taxa de emissão dos reservatórios. O fluxo de metano e CO₂ tem sido analisado em determinadas barragens na região tropical, boreal e temperada. A diferença das emissões por região pode ser verificada na tabela 5.

Tabela 5 - Emissões de carbono e metano por região. Os números entre parênteses representa a quantidade de reservatórios estudados para cada gás em seu relativo processo de emissão.

GHG pathway	Boreal & temperate		Tropical	
	CO ₂ mmol m ⁻² d ⁻¹	CH ₄ mmol m ⁻² d ⁻¹	CO ₂ mmol m ⁻² d ⁻¹	CH ₄ mmol m ⁻² d ⁻¹
Diffusive fluxes	-23—145 (107)	-0.3—8 (56)	-19—432 (15)	0.3—51 (14)
Bubbling	0	0—18 (4)	0	0—88 (12)
Degassing*	~0.1 (2)	n.a.	4—23 (1)	4—30 (2)
River downstream†	n.a.	n.a.	500—2500 (3)	2—350 (3)

Fonte: UNESCO/IHA, 2008

A emissão de CH₄ pelas hidrelétricas é sempre desfavorável, pois, mesmo que o carbono tenha se originado de fontes naturais, ele se torna um gás de maior GWP no cálculo final. A emissão de CO₂ pode ser atribuída, em parte, ao próprio ciclo natural do carbono, entre a atmosfera e a água do reservatório. Uma outra parte pode ser atribuída à decomposição da matéria orgânica, causada pela hidrelétrica. Além disto há que se considerar as variações de emissão dos gases inter e intra-reservatórios, visto que os reservatórios apresentam diferentes regimes de circulação de águas, que proporcionam condições diferenciadas de qualidade de água e geração de matéria orgânica. A diferença marcante entre as emissões de bolhas de metano – que são praticamente inexistentes nas áreas da antiga calha fluvial dos rios inundados – e as altas taxas encontradas nas regiões abrigadas dos reservatórios, mostram claramente este padrão diferenciado das emissões nos reservatórios. (MCT, 2006)

7 CONCLUSÕES

Antigamente considerava-se que a energia produzida através de hidrelétricas era limpa. Porém, baseando-se nas avaliações atuais, fica evidente este equívoco, pelo fato dos reservatórios de hidrelétricas emitirem gases de origem biogênica, tais como o CO₂ e CH₄. Mesmo assim, quando compara-se o impacto provocado pelas emissões de GEE com as emissões de tecnologias de

geração termelétrica constata-se que, na maioria dos casos analisados, as hidrelétricas apresentaram resultados melhores, demonstrando que são uma solução viável. Diante disto e como critério de escolha da tecnologia a ser empregada, é necessário que se realizem diagnósticos do ciclo de vida do reservatório em estudos futuros, bem como considerar as emissões existentes antes da formação do reservatório, avaliando-se inclusive o ciclo do carbono para determinar a sua origem (natural ou antropogênica) na bacia hidrográfica.

Os desafios que envolvem o diagnóstico de emissões de GEE em reservatórios são grandes e diferentes para PCHs e UHEs. Diante do exposto torna-se necessário avaliar detalhadamente quais são os reais impactos devido as emissões de GEE em barragens, além de se avaliar o contexto no qual esta se insere. Caso haja possibilidade de geração de energia elétrica por outras fontes deve-se avaliar quais destas terá menor impacto ambiental.

Não existe uma metodologia amplamente aceita para estimativa de emissões de GEE de reservatórios existentes ou planejados. Metodologias de inventário já sugeridas, por exemplo, pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), não relaciona todos os mecanismos químicos e físicos envolvidos e tende a superestimar as emissões por não relacionarem as emissões naturais. Avanços na determinação destas quantificações são essenciais uma vez que servirão de base para decisões políticas a serem tomadas, dentre outros temas, sobre a forma mais limpa de produção energética em um determinado local. Estas escolhas devem ser tomadas analisando particularmente cada caso, devido ao grande número de aspectos que influenciam os projetos, como foi apresentado neste trabalho.

É necessário que se melhore a disposição informações e ferramentas para apoiar decisões sólidas sobre o estado atual de GEE relacionado aos reservatórios para que se possa adotar as medidas de mitigação necessárias.

Conclui-se que há uma grande variação entre os dados de emissão de GEE, o que sugeriria mais cuidado na escolha de futuros projetos por parte do setor elétrico de cada nação. Além disto, para minimizar as incertezas sobre o assunto torna-se necessário a realização de estudos de monitoramento por longos períodos de tempo, para se caracterizar a curva de comportamento das emissões, uma vez que as medidas experimentais de uma área de estudo podem fornecer apenas

uma visão parcial sobre o assunto, e também pelo fato de reservatórios apresentarem suas particularidades.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTENUCCI, Jason et al. **Report of the Working Group on the GHG Status of Freshwater Reservoirs.** [S.l.], 2007.

BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. Wu and J.P. PALUTIKOF, Eds. **Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC Secretariat, Geneva, 2008. 210 pp.

BRASIL. Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering. **First Brazilian Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions – Background Reports: Carbon Dioxide And Methane Emissions From Brazilian Hydroelectric Reservoirs.** Ministry of Science and Technology, [S.l.], 2002.

BRASIL. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia; Ministério de Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência: Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros.** [S.l.], 2006.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2009, Ano base 2008: Resultados Preliminares.** Rio de Janeiro, 2009.

CARDOSO, Rafael B.; NOGUEIRA, Luiz Augusto H. **Estudo de Emissões de Gases do Efeito Estufa de Reservatórios Brasileiros.** Technical Articles. [S.l.]

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

MAZZI, Edmar A. **Processo de ciclagem e emissão de gases de efeito estufa em reservatório hidrelétrico do Centro-Oeste do Brasil (Cerrado)**. Piracicaba, 2007.

ROSA, Luiz P. et al. **Greenhouse Gas Emissions From Hydroelectric Reservoirs In Tropical Regions**. Climatic Change 66: 9–21, [S.l.], 2004.

ROSA, Luiz P. et al. In: **Hydroelectric Reservoirs and Global Warming**. RIO 02 - World Climate & Energy Event, January 6-11, 2002, p. 1-7.

SANTOS, Marco A. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas**. 2000. 154f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação, Rio de Janeiro.

SANTOS, Marco A. et al. **Emissões de Gases de Efeito Estufa por Reservatórios de Hidrelétricas**. Oecologia Brasiliensis, [S.l.], 2008.

SBRISSIA, RITA CHRISTIANNE. **Emissão de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Estudo de Caso PCH Salto Natal, Campo Mourão – Paraná**. 2008. 108f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia. Curitiba.

SOBEK, Sebastian. **Carbon Dioxide Supersaturation in Lakes – Causes, Consequences and Sensitivity to Climate Change**. 2005. 44f. Dissertação (Doutorado) - Uppsala University. Uppsala.

NEUMANN-SILKOW, Frauke. **Background paper on reservoir emissions with climate impact**. Eschborn, [20--].

TUNDISI, José G.; SANTOS, Marco A.; MENEZES, Carlos F. S. **Tucuruí Reservoir**. [S.l.], 2003.

UNEP - United Nations Environment Programme's Information Unit for Conventions. **Climate Change - Information Kit**, [S.l.], 1997.

THE WORLD BANK. **Review of Greenhouse Gas Emissions from the Creation of Hydropower Reservoirs in India - Strategies for Low Carbon Growth**. [S.l.], 2008.

TREMBLAY, Alain, et al. **The Issue of Greenhouse Gases from Hydroelectric Reservoirs: From Boreal to Tropical Regions**.

9 ANEXO

9.1 Comparação das emissões das hidrelétricas com as de suas termelétricas equivalentes

Hidrelétrica	Área km ²	Latitude	Potência MW	Média das duas campanhas			Emissões da Termelétrica Equivalente ²					Mérito - RI (Emis. Termelétrica / Emis. hidrelétrica)				
				Índice de Emissão de CH ₄	Índice de Emissão de CO ₂	Emissão da hidrelétrica ¹	Carvão ³ ciclo simples	Óleo ⁴ ciclo simples	Diesel ⁵ ciclo simples	Gás ⁶ ciclo simples	Gás ⁷ ciclo combinado	Carvão c. simples	Óleo c. simples	Diesel c. simples	Gás c. simples	Gás c. comb.
				kg/km ² /dia	kg/km ² /dia	tC/ano	tC-CO ₂ /ano	tC-CO ₂ /ano	tC-CO ₂ /ano	tC-CO ₂ /ano	tC-CO ₂ /ano	tC-CO ₂ /ano				
Tucuruí	2.430	3°45'S	4.240	109,4	8.475	2.602.945	4.661.873	4.702.228	4.501.659	4.330.284	2.598.170	1,79	1,81	1,73	1,66	1,00
Samuel	559	8°45'S	216	104,0	7.448	535.407	237.492	239.547	229.330	220.599	132.360	0,44	0,45	0,43	0,41	0,25
Xingó	60	9°37'S	3.000	40,1	6.138	41.668	3.298.495	3.327.048	3.185.136	3.063.880	1.838.328	79,16	79,85	76,44	73,53	44,12
Serra da Mesa	1.784	13°50'S	1.275	51,1	3.973	895.373	1.401.860	1.413.995	1.353.683	1.302.149	781.289	1,57	1,58	1,51	1,45	0,87
Três Marias	1.040	18°13'S	396	196,3	1.117	540.335	435.401	439.170	420.438	404.432	242.659	0,81	0,81	0,78	0,75	0,45
Miranda	50,6	18°55'S	390	154,2	4.388	38.332	428.804	432.516	414.068	398.304	238.983	11,19	11,28	10,80	10,39	6,23
Barra Bonita	312	22°31'S	140,76	20,9	3.985	137.341	154.765	156.105	149.447	143.757	86.254	1,13	1,14	1,09	1,05	0,63
Itaipu	1.549	25°26'S	12.600	20,8	171	93.269	13.853.680	13.973.602	13.377.571	12.868.296	7.720.978	148,54	149,82	143,43	137,97	82,78
Segredo	82	25°47'S	1.260	8,8	2.695	23.497	1.385.368	1.397.360	1.337.757	1.286.830	772.098	58,96	59,47	56,93	54,77	32,86
Conjunto das 9			23.518			4.908.166	25.857.739	26.081.572	24.969.088	24.018.532	14.411.119	5,27	5,31	5,09	4,89	2,94

1 Inclui o carbono do CH₄ (com GWP conforme IPCC, 1996) e do CO₂: (CH₄ x 12/16 x 7,6 + CO₂ x 12/44) x 365 / 1000;

2 Potência da hidrelétrica x 0,5 x 365 x 24 x fator de emissão de CO₂ / eficiência do combustível. Foi usado um fator, denominado energia incremental (50%), que leva em consideração o

acréscimo de energia assegurada total num sistema interligado devido a cada hidrelétrica.

3 Fator de emissão de CO₂ do carvão mineral, ciclo simples: 0,09288 tC/MWh, com eficiência de 37%;

4 Fator de emissão de CO₂ do óleo combustível, ciclo simples: 0,07596 tC/MWh, com eficiência de 30%;

5 Fator de emissão de CO₂ do óleo diesel, ciclo simples: 0,07272 tC/MWh, com eficiência de 30%.

6 Fator de emissão de CO₂ do gás natural, ciclo simples: 0,05508 x 1,27 tC/MWh, com eficiência de 30%;

7 Fator de emissão de CO₂ do gás natural, ciclo combinado: 0,05508 x 1,27 tC/MWh, com eficiência de 50%;

No caso do gás natural, os fatores de emissão incluem o fator 1,27, devido a 4,7% de perdas fugitivas e considerando o GWP molar de 7,6 para o metano.

Fonte: COPPE/MCT, 2006.