



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO XI**

**GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**Indicadores de Gestão Ambiental: emissões de gases de efeito estufa de reservatórios de hidrelétricas como um indicador de impacto ambiental**

**Evanise Neves de Mesquita(\*)**

**Terna Participações S.A.**

**RESUMO**

Os reservatórios de hidrelétricas, já há algum tempo, passaram a ser vistos como fontes antropogênicas de gases de efeito estufa, isto é aquelas resultantes de atividades humanas. Evidentemente, como qualquer corpo de água doce, ele participa das trocas de espécies de elementos químicos, também no estado gasoso, com a atmosfera, com o solo e com as áreas em torno dos mesmos. Os estudos e medições realizados em diversos locais do mundo, inclusive em vários reservatórios brasileiros, indicam que os ciclos de carbono e de outros elementos de interesse são bastante complexos nestes casos.

As estimativas de contribuição dos corpos de água doce terrestres para o aumento de concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera apontam para uma parcela não tão significativa no contexto do balanço global de emissões. Entretanto, é preciso identificar a parcela de origem antropogênica correspondente ao reservatório de hidrelétricas. Já que parte dos processos responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa já ocorreria sem a construção da barragem. Este trabalho apresenta algumas considerações sobre o estágio de desenvolvimento do conhecimento neste tópico específico e sobre as modelagens existentes para estimativa de emissões de GEE de reservatórios de hidrelétricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** emissões de gases de efeito estufa, mudanças climáticas, ciclo de carbono, emissões de reservatórios de hidrelétricas

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os GEE mais relevantes são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e vapor d'água (H<sub>2</sub>O). Dentre as fontes antropogênicas de emissão de gases de efeito estufa (GEE), a queima de combustíveis fósseis é a mais importante, pois responde por 56,6 % das emissões de CO<sub>2</sub>e, segundo Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, da Organização das Nações Unidas (*Climate Change - IPCC Fourth Assessment Report – 2007*) [1], e em segundo lugar estão as emissões de CO<sub>2</sub>e de desflorestamento, queima e/ou descaimento de florestas, tanto pela liberação do carbono na atmosfera como pela cessação da absorção de carbono da atmosfera que a vegetação, via fotossíntese, transformava em biomassa.

Dentre os países economicamente desenvolvidos, a disponibilidade de recursos hídricos remanescentes relevantes para geração de energia elétrica é praticamente nula. Por outro lado, países em desenvolvimento, como Brasil, além de terem um respeitável potencial hídrico, a maior parte ainda está por explorar. Este fato faz com que a questão das emissões de GEE de hidrelétricas seja de grande interesse para o desenvolvimento da matriz energética brasileira.

(\*) Terna Participações S.A.

Praça XV de Novembro, 20 Grupo 1002 e 1003. Rio de Janeiro, Centro, CEP 20010-010 RJ  
Tel: (+55 21) 2212-6349 fax (+55 21) 2212-6040 – e-mail:evanise.mesquita@terna.com.br  
www.terna.com.br

Os sistemas de água doce terrestres também participam no ciclo do carbono, emitindo e removendo gases de efeito estufa. A questão que se coloca é qual o impacto de reservatórios construídos pelo homem na parcela de emissões e/ou remoções atribuídas aos ecossistemas de água doce terrestres? Esta questão ainda permanece em aberto.

A quantificação das emissões e remoções de Carbono nos reservatórios ainda causa polêmica entre os técnicos e cientistas. Outro ponto importante é que todas as medições feitas se referem somente a emissões brutas, isto é, não há um desmembramento entre a parcela que já ocorreria antes da existência do reservatório e aquela ocasionada pela presença do reservatório, conhecida como emissões líquidas. Ainda não se tem completo domínio sobre os processos que ocorrem durante o do ciclo do carbono em reservatórios de hidrelétricas[2] [3] [4] [5] [6] [6][8] [9] [10] muito embora existam vários estudos e pesquisas realizadas e em andamento.

O objetivo deste trabalho é trazer para os técnicos de meio ambiente do setor elétrico um painel do que está acontecendo nesta área específica, e que ferramentas se dispõe para gestão ambiental de hidrelétricas com relação ao impacto ambiental das emissões de GEE.

## 2.0 - EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a temperatura da Terra, em níveis adequados, a manutenção da vida. Graças a este fenômeno, a temperatura média da Terra é hoje cerca de 4 graus Celsius acima do que era na última idade do gelo (que ocorreu há aproximadamente 13 mil anos atrás) e foram intercaladas por curtos períodos mais quentes, como este que vivemos no presente [11].

Parte da radiação solar ao atingir a Terra é absorvida pela atmosfera e parte a atravessa. A atmosfera retém a maior parte desta radiação, pois CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, dentre outros, têm uma estrutura que é excitável por esta radiação. Estes gases são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE). O vapor d'água é considerado também um gás de efeito estufa. Este processo provoca uma maior absorção de calor pela atmosfera e maior reflexão de calor para o solo. A parcela da radiação solar chega ao solo na forma de luz visível, inclusive radiação infravermelha. A radiação infravermelha está associada ao calor. Essa energia é em parte absorvida pelo solo e refletido de volta para atmosfera, que novamente absorve a maior parte e devolve o restante para o espaço, ainda sob a forma de radiação infravermelha.

Este fenômeno até alguns anos atrás era considerado benéfico para o homem, porém passou a ser o maior desafio ambiental que a humanidade já enfrentou. As conseqüências do agravamento do efeito estufa são globais, independentemente da origem das contribuições para o aumento da concentração de GEE. O aumento da temperatura da Terra hoje com relação a 1990 foi estimado em 0,6 °C[1].

A partir de 1958, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera foram sistematicamente medidas pelo observatório da Mauna Loa, no Havaí. Tais medidas indicaram um aumento regular das concentrações que corresponde, em média, a 0,5% a.a. Foram feitas também medidas em bolhas de ar em testemunhos de gelo obtido dos pólos Norte e Antártida. A utilização de processos de datação por radioatividade do ar contido nestes testemunhos de gelo possibilitou a identificação os níveis de concentração destes gases ao longo da história da Terra até os dias de hoje. O resultado foi a constatação de que as concentrações dos GEE eram muito inferiores e apresentavam oscilações bem mais contidas e que desde a Revolução Industrial a evolução temporal das concentrações de GEE apresenta uma acelerada curva ascendente.

### 2.1 Ciclo de Carbono

O ciclo do CO<sub>2</sub> na biosfera é caracterizado por etapas com tempos de duração significativamente diferentes. Na figura 1 são apresentadas as várias fontes e as etapas do ciclo do carbono. O tempo de permanência do CO<sub>2</sub> em cada estágio do seu ciclo é bem diferenciado. A enorme quantidade de CO<sub>2</sub> que levou milhões de anos para se transformar em combustível fóssil está rapidamente sendo colocada de volta na atmosfera. Na tentativa de estabelecer um novo equilíbrio considerando os aumentos das concentrações de GEE o sistema todo está respondendo com um aumento de temperatura e algumas outras alterações que podem ser observadas facilmente tais como diminuição da camada de gelo das calotas polares, deslocamento das épocas de migração de alguns animais, etc. [2,3].

Ao longo dos últimos cem anos, a contar da Revolução Industrial, que mudou para sempre a relação entre o homem e a natureza, a concentração na atmosfera de gases de efeito estufa (GEE's), sobretudo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vem aumentando por causa da maior atividade industrial, agrícola e de transporte, principalmente, devido ao uso de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, e os desmatamentos. O acúmulo desses gases, em quantidades superiores à capacidade de absorção das florestas e oceanos, aumenta dia a dia o efeito estufa, prendendo mais calor na atmosfera, efeito análogo ao dos painéis de vidro em uma estufa, e impedindo que a radiação da superfície terrestre seja liberada de volta ao espaço.

Os corpos de água doce existentes nos continentes não são representados como fonte de emissões e/ou remoções, como se não participassem das trocas de gases, como é o caso dos oceanos. A explicação para não ter sido considerada como um participante significativo pode ser porque os corpos de água doce cobrem uma parte muito pequena da superfície da Terra. Sendo assim, raramente sua participação no ciclo do carbono local ou global foi considerada potencialmente importante.

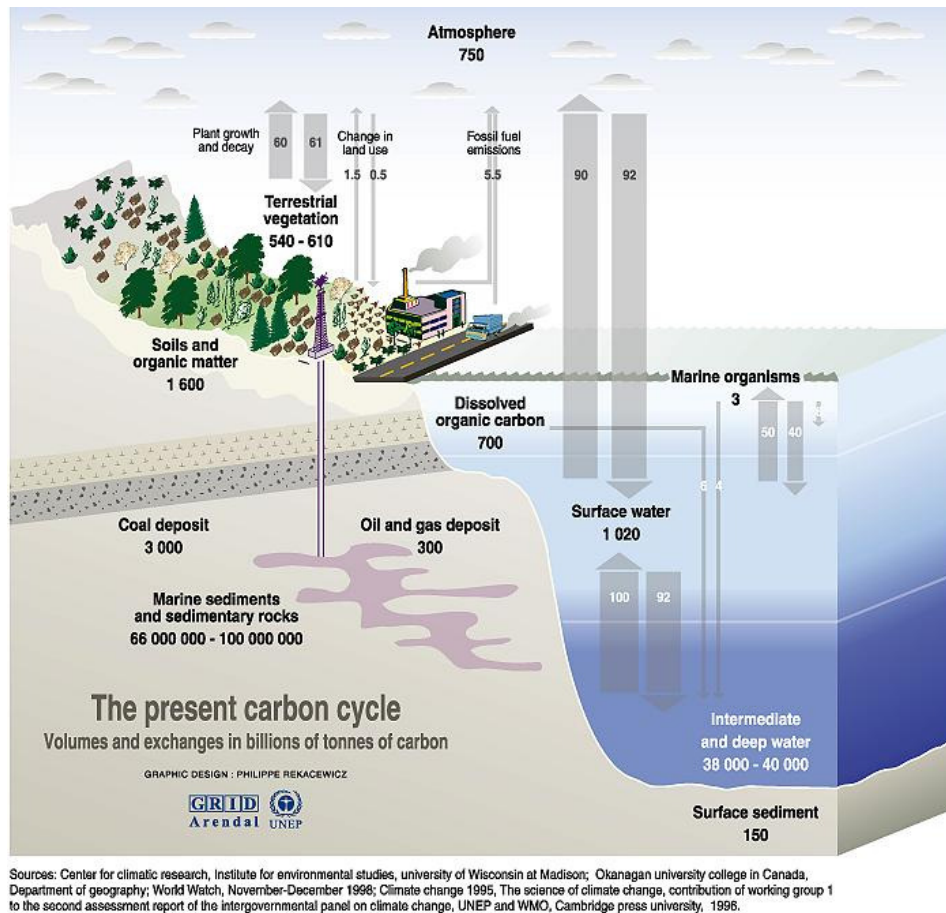


Figura 1 – Ciclo de carbono global na Terra [11]

No entanto, pesquisadores de diferentes países analisaram um conjunto considerável de publicações sobre as contribuições dos corpos de água doce para o aumento das concentrações de GEE na atmosfera com objetivo de fazer uma espécie de orçamento desta contribuição e entender a participação dos corpos d'água terrestre no ciclo global de carbono [12][13]. As estimativas de carbono consideraram as trocas de gases com a atmosfera, a acumulação no sedimento e o transporte para outros sistemas para vários tipos de sistemas aquáticos. As análises dos dados contidos nas publicações analisadas foram feitas de modo conservativo. Os resultados apontaram para uma entrada anual, oriunda de uma combinação de fontes da paisagem terrestre, algumas naturais e outras alteradas por ação do homem, da ordem de 1,9 Pg C/ ano (**1,9 bilhões de toneladas de Carbono / ano**), dos quais 0,2 são enterrados nos sedimentos aquáticos, e no mínimo 0,8 Pg C/ ano, podendo ser mais, é devolvido a atmosfera na troca de gases enquanto 0,9 Pg C/ ano é entregue aos oceanos, metade carbono orgânico e metade inorgânico.

Aproximadamente os sistemas aquáticos terrestres recebem o dobro de carbono comparado ao carbono que exportam para os oceanos. Em longo prazo, o fluxo líquido de carbono em sistemas aquáticos tende a ser maior por unidade de área de superfície de água do que o fluxo de carbono da maioria das terras em torno do sistema aquático. Embora sua área seja pequena, estes sistemas aquáticos de água doce podem afetar o balanço de carbono regional. Além disso, a inclusão de ecossistemas terrestres de água doce fornece detalhes úteis sobre o armazenamento, oxidação e transporte de carbono terrestre, e pode levar a uma revisão de como os sumidouros modernos de carbono líquido em terra são descritos.

A quantificação do papel global dos sistemas aquáticos terrestres foi realizada através de uma revisão da literatura sobre a componente do modelo de balanço de massa para águas internas para testar a hipótese do duto neutro. Foi examinado até que extensão existe uma fração significativa em termo de quantidade de carbono entrando nestes sistemas e sendo armazenado permanentemente ou perdido para a atmosfera como troca de gás. Foram então consideradas mais profundamente as consequências de uma abordagem explícita do papel dos sistemas aquáticos internos no balanço terrestre de carbono.

## 2.2 Ciclo de carbono nos reservatórios e emissões líquidas de gases de efeito estufa

Embora a atual contribuição dos reservatórios de água doce para as emissões globais de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> não estejam bem quantificadas, alguns autores argumentam que a contribuição dos trópicos é 50% do total de emissões de reservatórios. Emissões de GEE por reservatórios de hidrelétricas em escala mundial estão sujeitas a muita incerteza. Em um futuro próximo, emissões de gases de efeito estufa de reservatórios dos trópicos irão até mesmo crescer já que a maior parte do potencial hidrelétrico a serem explorados se encontra nos trópicos. Sendo assim a pesquisa deste tópico deve ser concentrar nesta zona climática. [2][3][4][5][6][8] [9][10][12][13]

No contexto do aquecimento global o conhecimento das emissões de GEE de reservatórios de elétricas é necessário para:

- A quantificação das emissões brutas dos reservatórios em escala local e global;
- A determinação de locais onde são esperadas emissões pós-enchimento de reservatório que seriam mínimas considerando os fatores de controle de emissões de GEE (forma do reservatório, a cobertura do solo e vegetação, tempo de residência da água, etc.)
- A identificação de componentes antropogênicas das emissões de reservatórios, as quais são de interesse econômico no contexto do mercado de carbono;
- A investigação das opções de mitigação para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Levando em conta a exposição sobre sistemas de água doce e suas complexidades, o reservatório de uma hidrelétrica, apesar de poder ser comparado a um destes sistemas, apresenta particularidades. Estas particularidades representam um grau a mais de dificuldade para a estimativa do balanço de carbono, isto é, diferença entre entradas e saídas de carbono, do reservatório. Alguns destes fatores são:

- Os reservatórios ocupam espaços originalmente não alagados, pelo menos de forma permanente, o que sugere o afogamento de biomassa e sua posterior decomposição, ou no mínimo, como foi mostrado antes, ecossistemas em constante transição.
- O fluxo de matéria orgânica a montante muitas vezes pode ser de apenas de origem antropogênica (efluentes orgânicos, por exemplo);
- A existência de vida nos reservatórios, portanto elementos que participam das trocas de energia e carbono (dentre outros elementos necessários a sua manutenção);
- A liberação de matéria e água, com gases dissolvidos, via turbina da hidrelétrica;
- A emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para atmosfera ainda no reservatório, no vertimento e/ou turbinamento e a jusante;
- Absorção de carbono pelos processos de fotossíntese que ocorrem nos reservatórios;
- Fixação de carbono no processo de sedimentação que ocorre nos reservatórios assim como nos lagos, mas que tem a peculiaridade de serem recentes e permanência incerta.

Há, portanto, uma feição diferenciada do processo em um lago e em um reservatório. Entretanto não há dúvidas que os reservatórios emitem, porém também absorvem e fixam carbono.

Para o desenvolvimento de um modelo preditivo e genérico é necessário:

- A identificação dos fatores de controle envolvidos na produção e emissão de GEE;
- A consideração de todos os caminhos entre o reservatório e a atmosfera;
- Uma entrada contínua de dados para fornecer elementos adequados a modelagem e calibragem, para garantir que o resultado do modelo não seja levado para longe das observações em um dado ecossistema;
- A validação do modelo em vários reservatórios (diferentes idades, formas, zonas climáticas) para garantir que o modelo é genérico.

Há uma enorme pressão sobre as hidrelétricas que é uma fonte de energia, pelo menos até hoje, considerada renovável e limpa de emissões. Não se pode negar o fato de que há impactos consideráveis na construção de grandes hidrelétricas, porém há condições de desenvolver projetos com tecnologias e metodologias capazes de reduzir estes impactos e garantir a sustentabilidade do empreendimento.

O balanço de GEE em um reservatório de água doce consiste em considerar todas as entradas e saídas tanto de gases de efeito estufa como matéria. São entradas de matéria orgânica trazidas no fluxo do rio a montante ou gerada no reservatório. Da mesma forma são consideradas as saídas de matéria orgânica via vertedouro ou turbinamento que, a jusante, poderá ser responsável por emissões de GEE. Algumas entradas, saídas e até processos que ocorrem no reservatório são naturais e já ocorreriam sem a interferência humana, isto é, sem a

construção do reservatório portanto como atribuir a construção do reservatório uma parcela do balanço de emissões. No entanto, é uma questão complexa e ainda sem resposta em curto prazo. Como atribuir a parcela do balanço de GEE à ação humana neste caso.

### 2.3 Reservatórios existentes hoje no Brasil

O Brasil tem hoje 152 plantas de geração de eletricidade em operação com um total de 36.798,82 km<sup>2</sup> de área de reservatório e uma potência instalada de 74.12 GW. A relação potência instalada sobre a área de reservatório é muito variada. A menor relação é 0,0534 MW/km<sup>2</sup> (UHE Balbina) e a maior 1500 MW/km<sup>2</sup> (UHE Sobragi). Do total de UHEs, 59 segundo o critério da UNFCCC para Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo seriam consideradas com zero de emissão, 35 teriam suas emissões estimadas com base na energia gerada aplicando o fator de 90 g CO<sub>2</sub>/MWh ano. As demais 58 UHEs não seriam elegíveis porque não são eficientes em termos de área de reservatório e não há como estimar com grau de certeza as emissões de GEE nestes casos.

Projetos de pesquisa vêm sendo realizados em alguns destes reservatórios [3][4][5][6][8][9][10], porém ainda não é possível estabelecer uma relação direta com parâmetros simples como localização geográfica, estação do ano, dados meteorológicos ambientais e etc. Cabe ressaltar que são medições para as quais não havia um protocolo de medição específico. O protocolo de medição para qualidade da água tem sido usado, porém dadas as dimensões dos reservatórios e a necessidade de estabelecer modelos matemáticos, correlações estatísticas ou qualquer outra metodologia são necessários um número muito maior de medições e um protocolo muito rigoroso já que os resultados das medições precisam ter credibilidade e ser comparadas.

Há atualmente várias iniciativas no sentido de estabelecer programas de medições de emissões de forma sistemática nos reservatórios brasileiros. Neste sentido existe envolvimento do MCT, do MME e da ANEEL na tentativa de promoverem projetos de pesquisa em um maior número possível de reservatórios.

Alguns resultados obtidos para a UHE de Balbina muitas vezes são tomados com referência para penalizar hidrelétricas de um modo geral quanto a emissões de GEE, no entanto o caso de Balbina é um caso especial com vasta literatura à respeito, não podendo ser tomada como caso típico ou referência.

No entanto, quando a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC) analisou a geração hidrelétrica [15], sendo renovável, portanto elegível ao crédito de carbono, estabeleceu parâmetros para que fizessem jus a créditos de carbono utilizou como ponto de corte as relações potência instalada sobre a área do reservatório. Como fator para estimar as emissões foi utilizado a energia gerada. As usinas hidrelétricas com relação potência instalada sobre área do reservatório maior que 10 foram consideradas como tendo emissões de GEE desprezíveis e a estas unidades pode-se atribuir emissão zero.

No entanto a questão não está fechada. A discussão continua e existe uma grande pressão sobre países como o Brasil para que não desenvolvam projetos de hidrelétricas com a alegação de diversos impactos ambientais não devidamente estudados inclusive as emissões de gases de efeito estufa.

### 2.4 Modelos de estimativa de emissões de GEE de reservatórios de hidrelétrica

A Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization -WMO) e o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (United Nations Environment Programme - UNEP) co-estabeleceram em 1988 o IPCC. Seu objetivo principal é avaliar informações científicas, técnicas, sociais e econômicas relevantes para a compreensão da mudança climática induzida pelo homem. O IPCC já elaborou quatro relatórios de avaliação, desenvolveu guias metodológicos para inventários nacionais de gases de efeito estufa, diversos relatórios especiais e artigos técnicos.

Uma das atividades do IPCC é dar suporte a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UN Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) através de seu trabalho sobre metodologias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. O IPCC tem três Grupos de Trabalho e uma força tarefa: Grupo de Trabalho I – A Ciência da Mudança do Clima; Grupo de Trabalho; II – Impactos Adaptação e Vulnerabilidade; Grupo de Trabalho III – Mitigação da Mudança do Clima e Força Tarefa para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (TFI).

O Guia foi desenvolvido pelo TFI com objetivos tais como: disponibilizar uma metodologia de inventário nacional de gases de efeito estufa abrangendo o maior número de fontes remeções possíveis baseado em conhecimentos científicos disponíveis e aceitos pela comunidade científica; possibilitar que os dados de emissões e remoções dos diversos países sejam comparáveis; que os relatos das emissões e remoções façam referência a um conjunto definido de elementos; estabelecer uma definição homogênea para os termos utilizados nos relatos das emissões e fornecer parâmetros que possam ser adotados pelos países quando não dispuserem de parâmetros específicos para a sua situação. O primeiro documento foi publicado em 1994, foi revisado e novamente publicado em 1996, sofreu algumas modificações e foi feita uma nova revisão em 2006.

Na revisão de 2006 do IPCC Guidelines [14], o Volume 4 fornece orientação para elaboração do inventário anual emissões e/ou remoções de gases de efeito estufa para os setores de Agricultura, Floresta e outro Uso da Terra, a sigla adotada AFOLU que remete a Agriculture, Forestry and other Land Use. O capítulo 7, que trata de terras alagadas, contém objetivamente as informações de interesse deste trabalho. Este capítulo fornece um guia para estimar e relatar emissões de gases de efeito estufa de terras alagadas administradas. Terras alagadas incluem quaisquer terras coberta ou saturada por água durante todo ou parte do ano, e que não se enquadram em nenhuma das categorias de terra de floresta, terra de plantio ou terra de pasto. Terras alagadas administradas serão restritas a terras alagadas onde o nível da água é artificialmente mudado (drenado ou aumentado) ou aquelas criadas por atividades humanas, tais com construir uma barragem em um rio. Não serão estimadas emissões de terras alagadas não administradas.

Terras alagadas são definidas como corpos d'água onde atividades humanas causaram mudanças no tamanho da área superficial coberta pela água, tipicamente através da regulação do nível da água. Exemplos de terras alagadas incluem reservatórios para produção de eletricidade, irrigação e navegação. Lagos rios regulados que não tem mudanças substanciais na área de água em comparação com o ecossistema pré-alagamento não são considerados com terras alagadas. Terras alagadas podem emitir CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em quantidades significativas, dependendo de uma variada gama de características tais como idade, uso da terra antes do alagamento, clima e praticas de manejo. Emissões variam espacialmente e ao longo do tempo.

Embora existam evidências, especialmente em áreas tropicais, de emissões de CH<sub>4</sub> aumentadas devido ao alagamento, devido as fortes variabilidades espaciais e temporais destas emissões, não foi possível, até agora, o desenvolvimento de fatores de emissão típicos para todas as regiões climáticas. A informação disponível com relação a emissões de CH<sub>4</sub> foi incluída em apêndice do IPCC Guideline, ver 2006. As metodologias e valores típicos que constam de apêndices do Guideline não são obrigatórias para uso, apenas registram os resultados de trabalhos de pesquisas, porém, em geral, ainda apresentam grau de incerteza acima do aceitável. Embora as informações tenham sido disponibilizadas em apêndice de o IPCC Guideline 2006, há ressalvas, em vários pontos do documento principal, sobre a impossibilidade de, neste momento, recomendar uma metodologia default. Os países que procuram relatar suas emissões de CH<sub>4</sub> de terras alagadas devem, onde possível e viável, desenvolver fatores de emissões domésticos. Um guia para desenvolvimento de tais fatores é apresentado também em apêndice do Capítulo 7, Volume 4, do IPCC Guidelines.

Com relação ao N<sub>2</sub>O, emissões de terras alagadas são geralmente muito baixas, a menos que exista uma significativa carga de material orgânico ou inorgânico sendo despejado no leito do rio. É provável que tais entradas ou descargas sejam resultados de atividades antropogênicas tais como mudança do uso do solo, tratamento de água residual ou aplicação de fertilizante no leito do rio. De modo a evitar dupla contagem de emissões de N<sub>2</sub>O já contabilizadas no orçamento destas fontes antropogênicas, e a luz da limitadas contribuição de emissões de N<sub>2</sub>O de terras alagadas relatadas na literatura, não será considerado para o orçamento de terras alagadas no Capítulo 7, Volume 4 do IPCC guidelines. O apêndice 2, do Capítulo 7, apresenta uma base para futuros desenvolvimentos metodológicos de uma abordagem possível para estimar emissões de CO<sub>2</sub> de terras convertidas em terras permanentemente alagadas.

### 2.3.1 Pós e contras do modelo proposto.

Os cientistas do mundo todo, envolvidos com este tema aceitam como conhecimento estabelecido que [15]

- Decomposição de matéria orgânica (aerobic e anaerobic) e outros processos no reservatório produzem CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Também alguns materiais inorgânicos presentes podem criar condições para emissões de GEE.
- Os gases emitidos pela decomposição da biomassa afogada constituem apenas uma fração do total de gases emitidos pelo reservatório. Também apenas uma fração do total de emissões é antropogênica.
- A matéria orgânica que se decompõe pode ser de duas diferentes origens: biomassa afogada e biomassa formada por processo de fotossíntese que ocorre continuamente dentro do reservatório.
- A intensidade da emissão de GEE no reservatório varia com o tempo. As variações dependem: temperatura, regime de vento, radiação solar, parâmetros físicos e químicos da água, bioma, composição da biosfera, latitude e altitude.

- Como um reservatório alaga diferentes áreas, a emissão deve ser contabilizada como um balanço de emissões (emissão líquida), o que requer medições locais antes do enchimento do reservatório. Medições diretas capturam apenas emissões brutas.
- É necessário ainda um melhor conhecimento do ciclo de carbono nos reservatórios para situações antes e depois do enchimento nos vários níveis (nível do reservatório, nível do leito do rio e após enchimento do reservatório) [6]
- As emissões de reservatórios e a grande variação dessas taxas, ao longo do tempo e entre diferentes reservatórios, parecem depender mais da decomposição de matéria de origem alóctone e autóctone do que da vegetação original que foi alagada,
- Apesar das dificuldades, os valores de emissões de GEE medidos no campo parecem ser mais adequados do que os valores obtidos por meio de cálculos teóricos baseados na biomassa original,
- As emissões de CO<sub>2</sub> mostraram leve tendência de aumento nas latitudes mais baixas => quanto mais próximo do Equador há uma tendência de maiores taxas. Entretanto este não é um padrão já que foram identificadas exceções.
- Ainda são necessários mais estudos e principalmente medições de campo

Entretanto algumas questões importantíssimas permanecem sem respostas[5], Por exemplo:

- Comportamento das emissões no tempo;
- Origem da matéria orgânica (autóctone ou alóctone);
- Extrapolação de valores de um ponto de amostragem para outro ponto do reservatório e para todo o corpo do reservatório;
- Extrapolação de valores de um ponto de amostragem para outro ponto do reservatório para outro reservatório;
- Qual a emissão da área do rio e áreas próximas que serão ocupadas pelo futuro reservatório? Como estimar as emissões líquidas dos reservatórios, isto é, o balanço de emissões descontadas as emissões que já aconteceriam independentemente de sua construção?

Neste sentido, o Programa Internacional de Energia Hídrica da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura -UNESCO (International Hydropower Programme IHP-VI), que inclui temas que tratam de Mudanças Globais e Recursos Hídricos, organizou 2 oficinas, uma em Paris, em 2006, e uma em Foz do Iguaçu, em 2008. Como resultados destes dois workshops foram elaborados dois documentos principais (ainda não publicados). O primeiro contém o estado da arte e o segundo uma proposta de protocolo de medição para dar maior qualidade, confiabilidade e comparabilidade as medições feitas nos diversos projetos em andamento que abordam esta área.

### 3.0 - COMENTÁRIOS FINAIS

- É de suma importância o desenvolvimento de pesquisa com campanhas de medição obedecendo a protocolos e sistemáticas de medição específica.
- Assim como é fundamental internalizar o conhecimento específico e/ou promover o desenvolvimento do tema mudanças climáticas para subsidiar o planejamento, a operação e a gestão socioambiental das instalações de geração e transmissão de energia elétrica.
- Brasil é pioneiro neste tipo de medição através dos projetos realizados pela COPPE para o Sistema Eletrobras. Entretanto os resultados não são suficientes para uma modelagem matemática das estimativas de emissões líquidas.
- Conforme explicado no texto do capítulo 4, GUIA DO IPCC versão 2006 ( IPCC Guidelines 2006), volume 7, o grau de incerteza dos resultados das estimativas de emissões de GEE de reservatórios de hidrelétricas é muito grande. As pesquisas realizadas por cientistas em diferentes regiões do mundo resultaram em uma massa de dados importante, porém muito heterogênea se analisada por região climática. Por exemplo, para algumas regiões climáticas, somente 4 (quatro) campanhas de medição foram feitas, enquanto outras têm cerca de 40 (quarenta) campanhas.
- A análise das publicações deixou claro que sem um modelo consistente do ciclo de carbono nos reservatórios, e sem uma correta identificação dos parâmetros que influenciam os processos bioquímicos envolvidos é impossível ter um modelo de estimativas das emissões.
- É fundamental identificar a contribuição da presença dos reservatórios artificiais no balanço de emissões de uma área em estudo. As medições em rios e lagos naturais são bem conhecidas, portanto o ponto parece ser distinguir o que é resultado da interferência humana e como é a dinâmica dos gases produzidos pelo reservatório.

- A utilização de estimativas de emissões de GEE como indicador de impacto ambiental baseada nas indicações fornecidas no GUIA DO IPCC versão 2006 ( IPCC Guidelines 2006) é desaconselhável e pode induzir a uma ponderação equivocada quando a contribuição de uma hidrelétrica para o aumento das concentrações de GEE na atmosfera.
- É preciso que os técnicos e especialistas de meio ambiente do setor elétrico recebam mais informações sobre o desenvolvimento deste tópico específico. A inclusão em estudo de impacto ambiental já vem ocorrendo a exemplo do EIA de Belo Monte. A correta noção do que pode ser aceito como fato e o que ainda precisa de mais pesquisa é fundamental para correta atuação dos técnicos e especialistas de meio ambiente.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The 4<sup>th</sup> Assessment Report - Synthesis Report – IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/>
- [2] Comunicado Nacional Inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, MCT, Novembro de 2004; [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0005/5586.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5586.pdf) ; visitado em 23/1/2007.
- [3] Emissões de Gases de Efeito Estufa do Reservatório Hidrelétrico de Belo Monte – Fase pré- enchimento do Reservatório, COPPE/UFRJ/Eletróbras, Fevereiro, 2005,
- [4] 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, 2006.
- [5] Gerente do Projeto André Cimberis, Projeto “O Balanço de Carbono nos Reservatórios de Furnas”, Equipes de Furnas, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFRJ/COPEE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental; Informações no endereço: <http://www.dsr.inpe.br/projetofurnas/index.html>.
- [6] Mesquita, Evanise; Milazzo, Maria Luiza; Emissão de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios de Usinas Hidrelétricas, XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belém, PA, 03 a 07 de junho de 2007, artigo T99 – A05
- [7] LBA/BARCA – Balanço Atmosférico Regional de Carbono na Amazônia; Coordenador José Antônio Alves Gomes, INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Expedição Científica CNPq; MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. [http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/port/LBA\\_release\\_port.htm](http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/port/LBA_release_port.htm).
- [8] Emissões de Metano e Dióxido de Carbono de Hidrelétricas na Amazônia Comparadas às de Térmicas Equivalentes; ELETROBRÁS; COPPE/UFRJ; AMARAL,A.C; MUNDIM,R.N; ROSA,L.P; Rio de Janeiro; 1994; ELETROBRÁS; <http://www.eletrabras.com.br/elb/portal/data/Pages/LUMISAE282FECPTBRIE.htm>
- [9] Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa de Hidrelétricas; Contrato ECE 925/1997 entre COPPE/UFRJ e ELETROBRÁS. <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21458.html>
- [10] Emissões de Gases de Efeito Estufa do Reservatório Hidrelétrico de Belo Monte – Fase de pré-enchimento (Contrato ECE 1802/2003 entre COPPE/UFRJ e ELETROBRÁS) 2nd Workshop on Greenhouse Status of Freshwater Reservoir; [www.hidroinformatica.org.br](http://www.hidroinformatica.org.br)
- [11] Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola; Divisão de Ensino de Química; Instituto de Química da USP; Sociedade Brasileira de Química, Maio 2001 e Novembro de 2003, Química Ambiental, - Bloco 3 Superior; <http://www.s bq.org.br/ensino>
- [12] Fleagle, R. G. Global Environmental Change: Interactions of Science, Policy, and Politics, PAEGER PUBLISHERS, 1994
- [13] J.J.Cole, Y.T.Praire, N.F.Caraco, W.H.McDowell,L.J.Tranvik, R.G.Striegel,C.M.Duarte, P.Kortelainen, J.a.Downing, J.J.Middelburg and J.Melack, Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into terrestrial carbon budget Ecosystems, 2007,10:171-184.).
- [14] IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).Published: IGES, Japan. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>)
- [15] Thresholds and Criteria for the eligibility of Hydroelectric Power Plants with reservoirs as CDM Project Activities.; UNFCCC/CCNUCC, C DM – Executive Board, EB 23, Report, Annex 5, page 1; ([http://cdm.unfccc.int/EB/023/eb23\\_repan5.pdf](http://cdm.unfccc.int/EB/023/eb23_repan5.pdf)) ; (23/11/2007)

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Evanise Neves de Mesquita – Engenheira Eletricista, formada em 1978, especialidade Sistemas de Potência. Pesquisadora do CEPEL na área de sistemas de transmissão, até 1999, pós-graduada em Gestão Ambiental pela UFRJ/PNUMA em 2008, técnica especialista do Departamento de Meio Ambiente até 2008, desenvolvendo estudos na área de Mudanças Climáticas, Emissões de GEE de Reservatórios e Créditos de Carbono, atualmente prestando serviços na área de Relações Institucionais e Regulação da Terna Participações S.A., onde atua como gestora ambiental, novos negócios, regulação e P&D.