

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DERIVADAS DE
HIDRELÉTRICAS

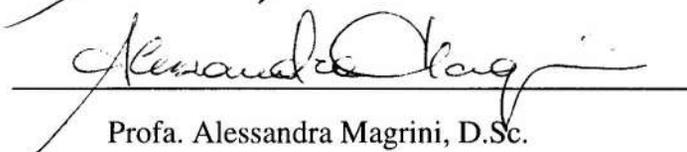
Marco Aurélio dos Santos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

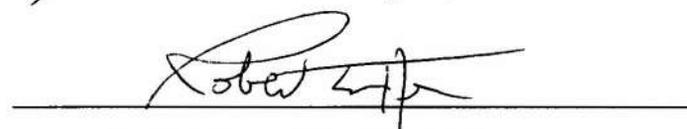
Aprovada por:



Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.



Profa. Alessandra Magrini, D.Sc.



Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.



Prof. Bohdan Matvienko Sikar, Ph.D.



Prof. Luiz Gylvan Meira Filho, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2000

DOS SANTOS, MARCO AURÉLIO

Inventário de Emissões de Gases de Efeito
Estufa Derivadas de Hidrelétricas[Rio de
Janeiro] 2000

XXII, 159 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Planejamento Energético, 2000)

Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Emissões de Gases de Efeito Estufa

2. Usinas Hidrelétricas

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Em primeiro lugar agradeço especialmente ao Professor Luiz Pinguelli Rosa, estimulador desta pesquisa e pessoa com a qual eu sempre soube que poderia contar nas horas mais difíceis.

À Eletrobrás, nas figuras dos técnicos Rogério Neves Mundim, Carlos Frederico Menezes e Ronaldo Sérgio Monteiro Lourenço, que colaboraram na realização do projeto de pesquisa.

À Itaipú Binacional, nas pessoas de Fernão Carbonar, Hélio Martins Fontes Júnior, Dalmi Marenda e Aparecido Soares.

À Furnas Centrais Elétricas S.A., nas pessoas de Norma Vilella, Rodrigo De Fillipo e André Cimblaris.

À ANEEL, na figura de Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, Naziano Pantoja Filizola e Paulo Coutinho.

Ao Professor Bohdan Matvienko Sikar do CRHEA/USP e à Elisabeth Matvienko Sikar da Construmaq – São Carlos, sem os quais não teríamos realizado as amostragens e as análises quantitativas dos gases.

Ao quadro de professores e funcionários do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, que me acolheram durante anos como aluno de mestrado e doutorado e também como integrante de alguns de seus projetos de pesquisa.

Aos colegas Valcir dos Reis Soares e Louise Land Bittencourt Lomardo pelas frutíferas discussões quando da co-habitação de gabinete de pesquisa.

Agradeço a todos aqueles que também colaboraram para a realização deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DERIVADAS DE HIDRELÉTRICAS

Marco Aurélio dos Santos

Março/2000

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho investiga o problema das emissões de gases de efeito estufa derivadas de reservatórios de hidrelétricas no Brasil. Para tanto, estabeleceu-se uma metodologia para mensurar as emissões de metano e de dióxido de carbono derivadas de um conjunto de reservatórios hidrelétricos brasileiros e extrapolar estes valores encontrados para o parque hidrelétrico do país. Foram quantificadas as emissões de metano e de gás carbônico e as respectivas dependências paramétricas de modo a se poder estimar valores de emissões para outras hidrelétricas.

Para tanto, empregou-se a medição experimental dos gases emanados pelos reservatórios para determinar especificamente as emissões de gases metano (CH_4) amostrados sob a forma de bolhas, que emanam do fundo do lago por efeito da decomposição da biomassa afogada, e dióxido de carbono (CO_2) principalmente transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão molecular, gerados a partir de material orgânico interno e externo ao reservatório.

As emissões das hidrelétricas estudadas foram comparadas com as emissões de plantas termelétricas hipotéticas de mesma potência, de forma a se medir a economia de emissão de carbono de uma tecnologia em relação a outra, tomando as emissões dos gases de efeito estufa como elemento de análise.

Abstracts of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

INVENTORY OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM HYDROELECTRIC
POWER PLANTS

Marco Aurélio dos Santos

Março/2000

Advisor: Luiz Pinguelli Rosa

Department: Energy Planning

This work presents the problem of the greenhouse gas emissions from hydro reservoirs in Brazil. For so much, we established a methodology for measure the emissions of methane and carbon dioxide of a group of Brazilian reservoirs and to extrapolate these values for the hydro system of the country. We quantified the emissions of methane and of carbon dioxide gas and it's parametric dependences in way to estimate the values of emissions.

The experimental measurements of the gases emitted by reservoirs are used to determine the emissions of gases methane specifically (CH_4) sampled under the form of bubbles, that they emanate of the bottom of the reservoir for effect of the decomposition of underwater biomass and carbon dioxide (CO_2) that is transported in the gradient of the lake by molecular diffusion, generated starting from the reservoir underwater biomass and watershed organic material.

The emissions of the hydro studied were compared with the emissions of hypothetical thermo plants, in way measuring the more is efficient a technology in relation to other, taking the emissions of the greenhouse gases as focus element.

Índice:

I - Introdução

I.1 – O Objeto da Pesquisa.....	01
I.2 – O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas.....	02
I.2.1 – O Mecanismo.....	02
I.2.2 – O Efeito Estufa Natural.....	03
I.2.3 – Mudanças Globais.....	04
I.2.4 – Principais Gases e Fontes de Emissão.....	06
I.2.5 – Previsões do Aumento da Concentração de CO ₂ na Atmosfera.....	09
I.2.6 – Algumas Conclusões do IPCC sobre Mudanças Climáticas.....	11
I.2.7 – O Debate Internacional em Torno das Controvérsias e das Consequências.....	13

II – O Histórico da Negociação Internacional em Torno da Prevenção da Mudança do Clima

II.1 – A Cúpula da Terra e a Assinatura da Convenção Quadro da Mudança do Clima.....	15
II.2 – A Estrutura de Apoio à Convenção.....	17
II.2.1 – O Comitê de Negociação Internacional.....	17
II.2.2 – O IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Globais.....	18
II.2.3 – O Secretariado da Convenção e Órgãos Subsidiários.....	19
II.2.4 – O Fundo Mundial de Meio Ambiente.....	20
II.2.5 – As Conferências das Partes.....	21

III – O Protocolo de Kyoto e os Mecanismos Flexíveis de Abatimento das Emissões

III.1 – Argumento e Objetivos Básicos da Implementação Conjunta.....	23
III.2 – A Posição Oficial do Brasil, Dificuldades e Efeitos Potenciais Positivos.....	24
III.3 – O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.....	25

IV – Caracterização do Setor Elétrico Brasileiro

IV.1 – Descrição do Setor Energético.....	27
IV.2 – A Atual Configuração do Setor Elétrico.....	30

V – Descrição dos Reservatórios Hidrelétricos Estudados e Critérios de Escolha Adotados.....	33
VI – O Estado da Arte da Questão do Efeito Estufa em Relação às Hidrelétricas	
VI.1 – Geração de Energia Elétrica e Efeito Estufa.....	56
VI.2 – O Histórico do Desenvolvimento de Estudos Experimentais no Brasil.....	60
VI.3 – O Significado da Medição de Gases de Efeito Estufa em Hidrelétricas.....	62
VI.4 – Resultados de Medições Obtidas em Reservatórios Hidrelétricos e em Lagos Naturais.....	64
VII – Descrição dos Trabalhos e da Metodologia de Medição Empregada.....	69
VIII – O Método de Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa das Hidrelétricas Comparadas com Termelétricas Equivalentes.....	74
IX – Cálculo da Emissão Evitada de Carbono dos Reservatórios Hidrelétricos Estudados	
IX.1 – Descrição da Extrapolação dos Dados de Análise para o Reservatório.....	78
IX.2 – Resultados das Medições para cada Reservatório e das Emissões Evitadas.....	78
X – Extrapolação dos Dados Medidos para Outras Hidrelétricas no Brasil	
X.1 – Extrapolação Baseada na Média dos Resultados por Profundidade e pela Latitude Geográfica.....	89
X.2 – Extrapolação dos Dados Baseada na Média da Teoria da Criticalidade Auto-Organizada.....	92
XI – Considerações Finais	102
XII – Referências Bibliográficas.....	106
Apêndice	
Apêndice A – A Metodologia de Medição e Análise de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios de Hidrelétricas.....	114
Apêndice B – Cálculo da Emissão de Carbono Evitada.....	127
Apêndice C – Cálculo da Emissão de Gases de Efeito estufa para o Parque Hidrelétrico – Latitudes.....	134
Apêndice D – Extrapolação para o parque Hidrelétrico – Teoria da Criticalidade.....	143

I - Introdução

I.1 - Objeto da Pesquisa

Este trabalho teve o objetivo de investigar emissões de gases de efeito estufa derivadas de reservatórios de usinas hidrelétricas. Para tanto, procedeu-se à execução de projetos de pesquisa junto à concessionárias de energia elétrica para medir experimentalmente estas emissões. Foram realizadas dezoito campanhas de amostragens em nove diferentes reservatórios ao longo do território brasileiro. Para captar uma possível variação dos parâmetros de análise, buscou-se uma variação das condições ambientais dos reservatórios estudados. A alternativa encontrada foi criar um ranking de hidrelétricas que cobrisse significativamente a variação de latitude geográfica ocorrente em nosso país.

Estabeleceu-se uma metodologia para mensurar as emissões de metano e de dióxido de carbono derivadas de um conjunto de reservatórios hidrelétricos brasileiros e uma extrapolação destes valores encontrados para o parque hidrelétrico do país. Foram quantificadas as emissões de metano e de gás carbônico e as respectivas dependências paramétricas de modo a se poder estimar valores de emissões para outras hidrelétricas.

Utilizou-se a medição experimental dos gases emanados pelos reservatórios para determinar especificamente as emissões de CH_4 amostrados sob a forma de bolhas, que emanam do fundo do lago por efeito da decomposição da biomassa afogada e dióxido de carbono CO_2 transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão molecular, gerados, principalmente a partir de material orgânico interno e externo ao reservatório.

As emissões das hidrelétricas estudadas foram comparadas com as emissões de plantas termelétricas hipotéticas de mesma potência, de forma a se medir a economia de emissão de carbono de uma tecnologia em relação a outra, tomando as emissões de gases de efeito estufa como elemento de análise.

Para a extrapolação, caímos no problema do cálculo da média dos resultados das observações experimentais feitas em algumas hidrelétricas, em alguns pontos e em alguns dias do ano. O problema é obter um valor de emissões para cada reservatório e para o conjunto dos reservatórios existentes no país. Usamos duas aproximações diferentes, a primeira empírica e a segunda teórica:

- média ponderada de acordo com a distribuição da profundidade em cada reservatório, agrupados por latitude;

- média integrada para todos reservatórios assumindo a distribuição de emissões dada por uma lei de potência.

Os resultados médios encontrados, empregando-se as duas metodologias, foram aplicados de forma a se ter uma idéia de quanto é a contribuição da geração hidrelétrica ao problema do efeito estufa.

I.2 - O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas

I.2.1 - O Mecanismo

O aquecimento da atmosfera terrestre é um fenômeno natural , resultante da interação dos processos naturais de entrada de radiação eletromagnética entre o sol (fonte geradora de radiação infravermelha , luz visível e radiação ultravioleta) e a emissão de radiação térmica do planeta terra (corpo receptor, dissipador e refletor da energia recebida da fonte geradora).

A intensificação das atividades antropogênicas, a partir da revolução industrial, proporcionou o aumento da emissão de determinados gases para a atmosfera, que interagem a nível molecular com a radiação térmica emitida para a Terra.

A este fenômeno foi dado o nome de Aquecimento Global. Mais tarde, devido a similaridade do processo que acontece com a atmosfera do planeta Terra e das estufas construídas pelo homem no cultivo de plantas e alimentos, este fenômeno foi chamado de Efeito Estufa, embora os processos físicos não sejam exatamente iguais nos dois casos.

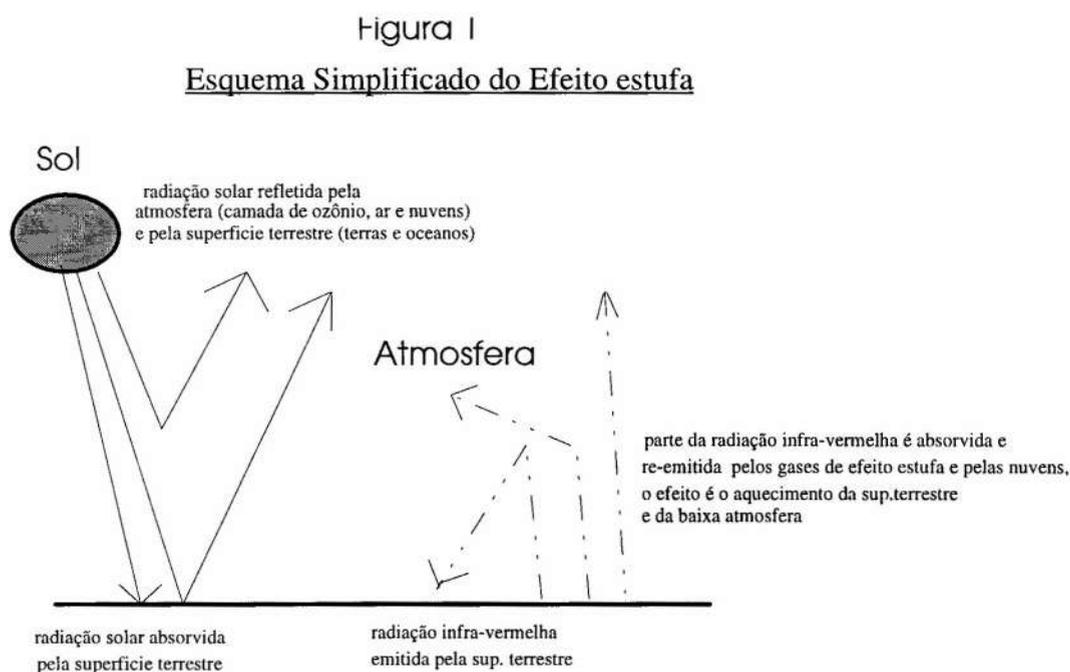
Na estufa artificial, há um desequilíbrio térmico proposital, criado pelo homem para estabelecer condições microclimáticas, a partir da construção de anteparos que bloqueiam a saída da radiação térmica para a atmosfera. Há adicionalmente um papel da convecção do ar. Geralmente, esse anteparo é feito de vidro ou plástico transparente, que permite a passagem da radiação infravermelha e retém o calor no ambiente condicionado (UNEP, 1997).

Em termos esquemáticos, no aquecimento global da Terra a armadilha para a retenção do calor é proporcionada pela presença de certos gases na atmosfera terrestre (chamados de gases de efeito estufa), que desempenham uma função similar ao vidro ou

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).

Outro fenômeno associado ao balanço de energia entre a Terra e Sol é o albedo, que representa a refletividade da atmosfera e da superfície da Terra. O albedo médio situa-se na faixa de 30%. Em torno de 100 W/m^2 da radiação solar é refletida diretamente para o espaço. A maioria do albedo atmosférico é causado pela presença de nuvens.

A figura 1 a seguir traz, em termos esquemáticos, a composição do balanço de energia entre o Sol e a Terra e o fenômeno do efeito estufa.



Fonte: UNEP, 1997

I.2.3 - Mudanças Globais

Dados sobre uma série de indicadores ambientais têm demonstrado que, em linhas gerais, há uma forte correlação entre o aumento das concentrações de gases de efeito estufa e a temperatura média junto à superfície da Terra, com impactos em escala global já detectados pelos cientistas.

Segundo as pesquisas científicas sobre o efeito estufa, a temperatura global do planeta adquiriu uma tendência de subida ao longo do último século. Observações até agora coletadas sugerem que a temperatura média da superfície terrestre elevou-se de 0,45 a 0,6 °C (IPCC,1995). Estas observações foram realizadas em estações meteorológicas, distribuídas em várias partes do planeta e após 1970 muitas destas observações, foram executadas por satélites a partir de medições diretas na alta atmosfera. A figura 2 a seguir traz a média anual (traço fino) e a média de cinco anos (traço grosso) da temperatura média global da Terra entre 1850 e os dias atuais. A partir da metade da década de 70 as observações passaram a ser feitas também por satélites, como é mostrado na curva da mesma figura.

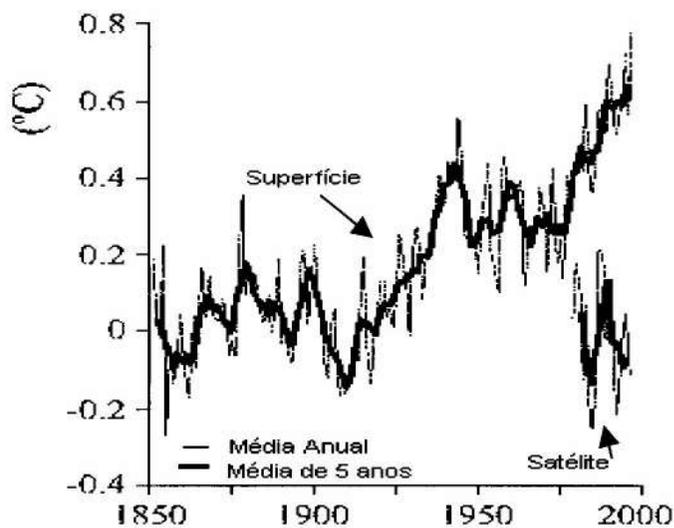


Figura 2 - Tendência da Temperatura Global (1851-1997)

Fonte: EPA, Global Warming Web Page

A precipitação aumentou em torno de 1 por cento sobre os continentes no último século, principalmente nas áreas de alta latitude, enquanto que nas áreas tropicais é sentido de um modo geral um declínio da precipitação (IPCC,1995)..

Outro impacto já mensurado é o aumento do nível dos oceanos. Medições recentes realizadas ao longo de várias partes do planeta confirmaram que o nível médio dos oceanos subiu cerca de 15 a 20 cm no último século, parte menor deste aumento

Tabela 1 - Índices de Concentração de Gases de Efeito Estufa

	CO₂	CH₄	CFC-11	N₂O
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

ppmv= partes por milhão por volume, ppbv= partes por bilhão por volume; pptv= partes por trilhão por volume

O gás que tem maior consequência individual na geração do aquecimento global é o vapor d'água troposférico, mas sua concentração atmosférica depende menos de atividades antropogênicas, cabendo a fontes naturais (evapotranspiração, vulcões, etc.) sua contribuição mais significativa (Watson et all, 1990).

O volume das emissões é apenas um indicador quantitativo da presença dos gases na atmosfera , pois a contribuição efetiva de cada substância ao aquecimento global deve ser ponderada pelo peso molecular e pelo tempo de permanência médio na atmosfera e pelo efeito de aquecimento cumulativo de cada gás. A ponderação de todos estes fatores vai fornecer o Poder de Aquecimento Global – Global Warming Potential (GWP)-, calculado pelo IPCC .

Este índice foi criado de forma a instrumentar a esfera de tomada de decisão quanto ao efeito relativo dos gases causadores do aquecimento global entre o presente e um outro intervalo de tempo escolhido (IPCC,1994).

O GWP é expresso como a integração no tempo do forçamento radiativo de uma emissão instantânea de 1kg de um dado gás traço relativo a 1kg de um gás tomado como referência (IPCC,1990):

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} ax[x(t)]dt}{\int_0^{TH} ar[x(t)]dt}$$

onde TH é o horizonte de tempo no qual o cálculo é considerado; ax é o forçamento radiativo relacionado à mudança do clima do incremento de uma unidade do gás em questão na concentração atmosférica; [x(t)] é o decaimento da concentração ao longo do tempo de um pulso de gás injetado na atmosfera. As mesmas definições correspondentes ao gás de referência estão no denominador.

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 de políticas.

Os gases de efeito estufa exercem um forçamento radiativo de forma direta e de forma indireta. A forma direta ocorre quando o próprio gás é um gás de efeito estufa, ou seja, a seção de choque da molécula do gás interage fortemente com a radiação térmica. A forma indireta de forçamento radiativo ocorre quando há transformações químicas no gás original que produz um outro gás ou gases que apresentam propriedades de alta interação com a faixa térmica de radiação do espectro eletromagnético.

A tabela 2, a seguir, mostra para dois tipos de gases a evolução do índice GWP nos relatórios científicos do IPCC.

Tabela 2 - Potencial de Aquecimento Global (GWP) do CH₄ e do N₂O em Relação ao CO₂

Base	Referência	Horizonte de Tempo (anos)		
		20	100	500
CH₄ - Massa	IPCC - 1990	63	21	9
	IPCC - 1992	35	11	4
	IPCC - 1994	62	24,5	7,5
	IPCC - 1995	56	21	6,5
CH₄ - Molar	IPCC - 1990	22,9	7,6	3,2
	IPCC - 1992	12,7	4,0	1,4
	IPCC - 1994	22,5	8,9	2,7
	IPCC - 1995	20,1	7,3	2,6
N₂O - Massa	IPCC - 1990	270	290	190
	IPCC - 1992			
	IPCC - 1994	290	320	180
	IPCC - 1995	280	310	170

Fonte: IPCC, 1990; IPCC, 1992; IPCC, 1994; IPCC, 1995

As principais fontes antropogênicas dos gases estufa são as atividades industriais, a produção e a utilização de energia e o desflorestamento associado à queimadas (como as atividades agropecuárias em geral). Os diferentes tipos de gases estão relacionados a fontes específicas de emissão, com uma grande variedade e extensão geográfica, o que dificulta um inventário completo da origem dos gases.

A seguir, são apresentadas, por tipo de gás emitido, as principais fontes responsáveis: (OECD, 1991)

- **Dióxido de Carbono (CO₂)** - extração, transformação, transporte e uso final de combustíveis fósseis. Desmatamentos associados à queimadas de áreas florestadas.
- **Metano (CH₄)** - produzido através de processos de decomposição anaeróbica ou por combustão incompleta nas mudanças no uso do solo (cultivo de arroz em áreas alagadas, queima de biomassa - florestal e resíduos agrícolas -, inundação de áreas florestadas em reservatórios) e áreas naturais pantanosas; criação de animais ruminantes (dejetos e criação), utilização energética (produção, armazenagem, queima de carvão mineral produção e transporte de gás natural).
- **Óxido Nitroso (N₂O)** - desnitrificação dos solos em condições anaeróbicas, combustão, queima da biomassa, utilização de fertilizantes.
- **Clorofluorcarbonos (CFCs)** - Atividade industrial, gases refrigerantes (ar condicionado, refrigeradores), aerossóis.
- **Ozônio (O₃)** - Conseqüência de reações complexas na alta atmosfera [reação fotoquímica com o Monóxido de Carbono - (CO), metano - (CH₄)-, e radicais oxidados de nitrogênio - (NO_x)].

I.2.5 - Previsões do Aumento da Concentração de CO₂ na Atmosfera

Estudos sobre cenários de emissão de gases de efeito estufa e da concentração na atmosfera estão amplamente disseminados. O mais comumente empregado nas previsões sobre possíveis alterações climáticas de caráter global é o do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima).

O IPCC foi estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial - OMM e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, para avaliar a informação científica, técnica e sócio-econômica disponível no campo de mudança do clima. O IPCC está organizado em três grupos de trabalho: Grupo de Trabalho I que se concentra no sistema do clima, Grupo de Trabalho II avaliando os impactos e opções de resposta das mudanças do clima e Grupo de Trabalho III nas dimensões econômica e social.

O IPCC construiu em 1992 uma série de cenários de previsão de aumento das concentrações de gases de efeito estufa e suas implicações com a atividade econômica.

O cenário mais otimista do IPCC (IS92a) assume que a população mundial evolua para 6,4 bilhões em 2010 e que a economia crescerá a uma taxa média de 2% por ano até 2025. De acordo com estas previsões, as emissões de CO₂ crescerão de 7,4 gigatonelada por ano hoje em dia até 8,8 em 2025 e deverão declinar para 4,6 Gt em 2100. O cenário mais pessimista (IS92e) assume que a população mundial cresça para 13,1 bilhões de habitantes e que a economia cresça a uma taxa de 3% ao ano durante o próximo século. Desta forma, as emissões de CO₂ aumentariam para 15,1 Gt em 2025 e 35,8 Gt em 2100. (IPCC, 1992)

Hoje em dia, a concentração de CO₂ na atmosfera corresponde a 353 ppm. Adotando-se a hipótese de crescimento das emissões do cenário otimista, a concentração de CO₂ chegaria a 700 ppm no ano de 2100. De acordo com os cenários construídos pelo IPCC, no próximo século poderemos incrementar de 2 a 7 vezes a concentração atual de CO₂ na atmosfera, considerando a faixa de hipóteses empregadas, ou seja, de 720 a 2.500 ppm de CO₂ na atmosfera

A figura 3 mostra as emissões totais de carbono por grupos de países projetadas pelo IPCC até o ano de 2025 no cenário otimista (IS92a).

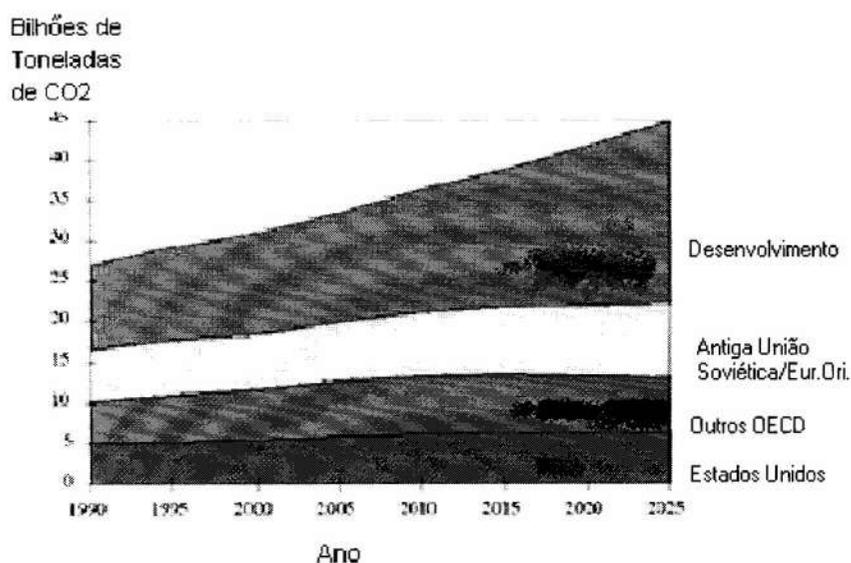


Figura 3 – Emissões de CO₂ Totais Projetadas (Cenário Otimista do IPCC, IS92a)

Fonte: IPCC, 1992

I.2.6 - Algumas Conclusões do IPCC sobre as Mudanças Climáticas

Aqui estão descritas algumas das principais conclusões do sumário para os tomadores de decisão, trabalho desenvolvido pelo Grupo de Trabalho I do IPCC. (IPCC, 1995)

- A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera continuará crescendo:
O aumento das concentrações de gases de efeito estufa desde a época pré-industrial levou a um forçamento radiativo do clima, fazendo com que o clima de um modo geral se aqueça e produza alterações climáticas. A concentração de CO₂ aumentou 30%, o metano (CH₄) 145% e o óxido nitroso (N₂O) 15% até 1992. Mantendo-se a uma taxa constante de crescimento, as emissões de CO₂ deverão aumentar significativamente o nível de concentração do gás na atmosfera, chegando ao patamar de 500 ppmv no fim do século 21. A estabilização das concentrações de CH₄ e N₂O aos níveis atuais implicariam em reduções das emissões antropogênicas de 8% no caso do CH₄ e mais do que 50% no caso do N₂O.
- Os aerossóis troposféricos tendem a produzir efeitos negativos de forçamento radiativo:
O aerossol troposférico (partículas microscópicas de poeira) resultantes da combustão de combustíveis fósseis, queima da biomassa e outras fontes naturais como erupções

vulcânicas, estão levando a um efeito negativo direto da radiação da ordem de $0,5 \text{ W/m}^2$, em média global, e com possibilidades de estarem gerando outro efeito negativo indireto na mesma ordem de magnitude no efeito de resfriamento direto.

- O clima tem mudado no último século

A temperatura média do ar na superfície terrestre aumentou entre $0,3$ a $0,6^\circ \text{ C}$ desde meados do século 19. Os anos mais recentes tem sido mais quentes desde 1860, desde o período que empregou-se o registro instrumental, mesmo considerando o efeito de esfriamento provocado pela erupção do vulcão Pinatubo em 1991.

Os dados até agora disponíveis são inadequados para determinar a magnitude das mudanças globais ou mesmo quantificar quanto eventos extremos ocorreram ao longo do século 20. Entretanto, na escala regional, existe a evidência de que as mudanças tem causado a variabilidade climática (por exemplo a constatação do aumento da precipitação em algumas regiões do mundo).

- O balanço das evidências sugere fortemente a influência humana sobre o clima global:

Desde o relatório do IPCC de 1990, considerável progresso foi realizado na distinção das influências naturais e antropogênicas sobre a mudança do clima. Este progresso foi alcançado ao se incluir o efeito dos aerossóis aos gases de efeito estufa, tornando mais realística as estimativas das alterações induzidas pelo homem no padrão da mudança climática. Porém, ainda existem incertezas relacionadas à atribuição do componente antropogênico. O conhecimento atual para quantificar a influência humana sobre o clima global é limitado, visto que é limitada a capacidade de distinção entre os sinais destas mudanças e a própria variabilidade natural do clima e existem incertezas em alguns fatores chaves. Incluem-se aí o padrão e a magnitude da variabilidade natural de longo prazo e a questão do tempo de resposta do forçamento radiativo dos gases, associado às mudanças de concentração dos gases de efeito estufa e de aerossóis, associados à mudanças de uso do solo. Em particular, para reduzir estas incertezas é necessário estimar as futuras emissões de carbono e o ciclo bio-geoquímico (incluindo fontes e sumidouros) de gases de efeito estufa, aerossóis, precursores e a projeção das futuras concentrações e propriedades radiativas dos gases. A representação dos processos climáticos em modelos, deve incluir a retroalimentação das nuvens, oceanos,

geleiras e vegetação, de forma a melhorar as projeções das taxas e dos padrões regionais de mudança do clima.

- Aperfeiçoamento dos Estudos

Através do conhecimento do ciclo global do carbono e da química da atmosfera, foram projetadas as concentrações de gases de efeito estufa, de aerossóis e a perturbação do forçamento radiativo natural. Modelos climatológicos estão sendo usados para desenvolver estas projeções do clima futuro. O aumento do realismo das simulações do clima passado e do atual, através do acoplamento de modelos de interação entre o oceano e a atmosfera estão conferindo maior confiabilidade para estas projeções.

I.2.7- O Debate Internacional em Torno das Controvérsias e das Consequências do Fenômeno

Cientistas do mundo todo guardam ainda certa prudência ao examinar as consequências do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. Entretanto, há a certeza de que o fenômeno não está restrito apenas ao campo do aumento da temperatura global do planeta. Implica também em desdobramentos sérios no equilíbrio climático atual, efeitos diretos na economia da sociedade, tais como: inundação de áreas costeiras baixas - que sofreriam com um possível aumento do nível dos mares em consequência da aceleração do degelo das calotas polares - e alterações no padrão de circulação atmosférica - que provocariam perdas nas culturas agrícolas, anomalias climatológicas, etc..

A grande questão sobre o aumento da concentração de gases que alteram o equilíbrio climático é quanto às consequências quantitativas das emissões e das interações complexas entre os processos climatológicos presentes na atmosfera. A variedade dos gases causadores, a dispersão e a quantidade das fontes geradoras, somados ao efeito sinérgico e cumulativo das interações dos elementos químicos na atmosfera são, com certeza, uma barreira ao conhecimento pleno do mecanismo de formação do Efeito Estufa.

A própria natureza do fenômeno ser caótico, ou seja com elevado grau de imprevisibilidade, confere ao problema uma grande incerteza, trazendo como consequência, uma grande divergência de opiniões entre os cientistas. (Rosa et al, 1990)

O relatório da OECD recomenda que as novas tentativas de contabilização contenham uma harmonização das contas, no sentido de facilitar as comparações internacionais, de acordo com os seguintes critérios mínimos:

- ênfase nas emissões de fontes antrópicas e nas medidas de abatimento também de origem antrópicas;
- todas as emissões devem utilizar como unidade, a massa molecular em unidade métrica (ex.: Gg - giga grama) e em unidades de C;
- as estimativas devem ser totalizadas em CO₂, já que as emissões de CO e CH₄ transformam-se em CO₂ na atmosfera;
- as emissões devem ser representadas por país ou por sistema específico.

As tentativas de estabelecimento de um consenso global sobre o atual estado da arte, que envolvem as bases científicas e a contribuição de cada país nas emissões globais de gases, estão sendo conduzidos em nível internacional pelo IPCC desde 1990.

No IPCC, diversos cientistas e instituições governamentais de diversos países, conduzidos pelo PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente- e pelo PMM - Programa Meteorológico Mundial , vem tentando harmonizar a base de conhecimentos sobre o assunto, visando obter um maior grau de certeza sobre essa questão.

A questão das mudanças climáticas e do Efeito Estufa é inerentemente interdisciplinar, e tem de ser encarada como tal, visto que além das incertezas científicas, existem questões de caráter econômico e social dos países que produzem os gases causadores do fenômeno (taxa de crescimento populacional, crescimento econômico, aparecimento de novas tecnologias, etc...). Esse quadro agrava ainda mais o problema. (Rosa et al, 1990)

II - Histórico da Negociação Internacional em Torno da Prevenção da Mudança do Clima

II.1 - A Cúpula da Terra e a Assinatura da Convenção da Mudança do Clima

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima faz parte de uma série de acordos internacionais recentes pelo qual países de todo o mundo estão se unindo para enfrentar o desafio do desenvolvimento sustentável e das mudanças ambientais de caráter global. A Convenção foi assinada em 1992, durante a realização Conferência da ONU para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro. Outros protocolos similares tratam de questões como a poluição dos oceanos, a desertificação, danos à camada de ozônio, e a rápida extinção de espécies animais e vegetais.

O processo de negociação em torno da Convenção foi extremamente duro e repleto de entraves diplomáticos. Mesmo assim, a Convenção foi negociada e assinada por 166 países em pouco mais de dois anos, e cerca de 181 já a ratificaram, a aceitaram, aderiram ou aprovaram o seu texto estando, assim, juridicamente vinculados a ela. O tratado entrou em vigor em 21 de março de 1994 e o Brasil, através de seu Congresso Nacional, ratificou os termos da Convenção em 28/02/94 (United Nations, 1997).

O "objetivo final" da Convenção é o de estabilizar "as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica (provocada pelo homem) perigosa no sistema climático". O objetivo não especifica quais seriam esses níveis de concentração; só estipula que não devem ser perigosos.

Com a inclusão deste objetivo de ordem geral, a Convenção reconhece que as "previsões relativas à mudança do clima caracterizam-se por muitas incertezas, particularmente no que se refere à sua evolução no tempo, magnitude e padrões regionais". Desta forma, não existe uma certeza científica sobre o que seria um nível perigoso de concentrações de gases para a humanidade (MCT/MRE, 1996).

O nível de concentração deverá ser reduzido num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, assegurando que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável (IUCC, 1995).

O tratado também estabelece um quadro de princípios a serem seguidos, obrigações das partes, bem como a infra-estrutura burocrática e operacional da

convenção, para que os países possam chegar a um acordo sobre ações específicas a serem tomadas mais adiante.

Os responsáveis pela redação do documento consideraram a Convenção como o ponto de partida para outras possíveis ações futuras. Eles reconhecem que não seria possível, no ano de 1992, que os governos do mundo chegassem a um acordo sobre um plano básico detalhado para fazer frente à mudança do clima. Porém, estabelecendo um quadro de instituições, princípios gerais e criando um processo através do qual os governos podem reunir-se periodicamente, foi dado o primeiro passo (IUCC,1995).

A Convenção foi concebida de forma a permitir que os países reforcem ou enfraqueçam o tratado de acordo com novos avanços científicos. Por exemplo, eles podem concordar em tomar ações mais específicas (como reduzir num certo grau as emissões de gases de efeito estufa), aprovando "emendas" ou "protocolos" dentro da Convenção.

Nos termos da Convenção há 5 princípios básicos para implementar suas disposições: (IUCC,1995)

- princípio da conservação dos benefícios da preservação do clima para as gerações futuras e presentes da humanidade;
- considerar as necessidades específicas e circunstâncias especiais dos países em desenvolvimento;
- adotar medidas de precaução para prever, evitar ou minimizar as causas das mudanças climáticas;
- direito ao desenvolvimento sustentável;
- princípio da cooperação internacional para alcançar as metas de crescimento e desenvolvimento sustentável.

Os países que ratificaram a Convenção, chamados de "Partes da Convenção", devem elaborar, atualizar periodicamente e dar publicidade aos inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e os sumidouros de gases. Programas nacionais devem ser formulados com vistas a mitigar as emissões antrópicas e aumentar as fontes de absorção dos gases. A Convenção encoraja-os a compartilhar tecnologias e a cooperar de outras maneiras para a redução das emissões de gases de efeito estufa, principalmente as procedentes dos setores de energia, transporte, indústria, agricultura, florestas e administração de resíduos, que em conjunto produzem quase a totalidade das emissões de gases de efeito estufa atribuídas à atividade humana. (IUCC, 1995)

Em termos políticos, a Convenção do Clima atribui aos países ricos a maior responsabilidade na luta contra a mudança do clima e também a maior parte da conta a pagar. As emissões do passado e as atuais são originárias dos países desenvolvidos. Desta forma, a Convenção observa que as Partes países desenvolvidos e demais Partes constantes do Anexo I se comprometem a retornar seus níveis de emissão de gases de efeito estufa (dióxido de carbono e demais gases não controlados pelo Protocolo de Montreal) voltem, individual ou conjuntamente a níveis emitidos do ano de 1990. (MCT/MRE, 1996)

A Convenção reconhece que nações mais pobres têm direito ao desenvolvimento econômico. Ela observa que a parcela de emissões de gases de efeito estufa originárias de países em desenvolvimento aumentará à medida em que esses países ampliem suas indústrias para melhorar as condições sociais e econômicas de seus habitantes. (MCT/MRE, 1996)

II.2 - A Estrutura de Apoio à Convenção

II.2.1 - O Comitê de Negociação Internacional

A negociação em torno de um possível protocolo internacional que tratou a questão do efeito estufa e das mudanças climáticas globais, deu-se a partir da 44^a Assembléia Geral das Nações Unidas em 1990, pela qual a assembléia aceita implicitamente na sua resolução o reconhecimento de que o problema da mudança climática é fortemente baseado em aspectos políticos e de negociação, sendo as Nações Unidas o fórum apropriado para ações políticas concertadas sobre problemas ambientais globais. (Bodanski, 1993)

Em dezembro do mesmo ano, a Assembléia Geral adotou a resolução 45/212 que estabeleceu o CNI - Comitê de Negociação Intergovernamental para a Convenção Quadro da Mudança do Clima (INC - International Negotiation Committee).

Tal comitê tinha a prerrogativa para negociar os compromissos das partesⁱ para uma posterior assinatura na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) em Junho de 1992, no Rio de Janeiro, Brasil. (Bodanski, 1993)

ⁱ partes é uma designação diplomática para todos aqueles países que aderem a um tratado internacional.

Até poucos meses antes da realização da CNUMAD-92 muito pouco se fez no âmbito das negociações, visto que nas discussões havia pouco consenso e os representantes dos países faziam a questão de marcar suas posições oficiais. As negociações reais, que incluíam a formação de blocos de posições convergentes e o debate polarizado só acontece poucos meses antes da Cúpula da Terra.

A partir dos encontros do INC foi então proposta e adotada a Convenção das Mudanças Climáticas, aberta para assinaturas dos diversos países na CNUMAD-92.

O INC foi formado por representantes governamentais e também aberto para observadores autorizados. O órgão tinha uma infra-estrutura própria, com o apoio de um secretariado localizado em Genebra.

Segundo os termos da Convenção, o INC deveria ser substituído pela Conferência das Partes (COP), que a partir de sua primeira edição passou a ser o órgão supremo da Convenção, supervisionando sua implementação.

II.2.2 - O IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) no ano de 1988, com o objetivo de prover os decisores com informações científicas sobre a mudança do clima. O IPCC tem o objetivo de promover encontros e produz relatórios científicos com vistas a assessorar com certa periodicidade aqueles que estão negociando politicamente o tratado. O primeiro relatório de avaliação científica foi feito em 1990, um outro relatório técnico suplementar em 1992, um relatório especial sobre o forçamento radiativo do clima em 1994 e o segundo relatório de avaliação científica em 1995.

O Grupo de Trabalho I analisa o funcionamento do sistema climático e as mudanças potenciais que podem resultar das atividades humanas; o Grupo de Trabalho II avalia os impactos potenciais da mudança do clima bem como estratégias de adaptação e medidas para reduzir as emissões de gases e o Grupo de Trabalho III avalia as implicações econômicas da mudança do clima (danos ambientais potenciais e seus custos associados, custos de redução das emissões). Ao longo de seu período de funcionamento o IPCC promove várias reuniões de avaliação científica e workshops sobre temas selecionados com vistas à resolução das incertezas científicas relacionadas às mudanças climáticas globais.

II.2.3 - O Secretariado da Convenção e os Órgãos Subsidiários

O artigo 8 da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima estabeleceu um Secretariado, encarregado de dar suporte às negociações em torno do tratado. Em um primeiro momento, foi criado um secretariado interino e durante a primeira sessão da Conferência das Partes (COP 1), este secretariado foi alçado ao status de organização permanente.

As funções do Secretariado são (MCT/MRE, 1996) :

- organizar as sessões da Conferência das Partes e dos órgãos subsidiários;
- divulgar os relatórios e documentos oficiais;
- auxiliar as Partes com informações necessárias, especialmente os países em desenvolvimento;
- desempenhar funções administrativas sob a orientação da Conferência das Partes;

Foram também estabelecidas duas organizações subsidiárias pela Convenção : Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (SBSTA - Subsidiary Board for Scientific and Technological Advice) e o Órgão Subsidiário para a Implementação (SBI - Subsidiary Board for Implementation).

O SBSTA tem o objetivo básico de prestar assessoramento técnico e prover informações de caráter técnico e interdisciplinar. É composto basicamente por técnicos dos governos das Partes signatárias da Convenção. O papel do órgão é o de preparar avaliações científicas e avaliar o estado do conhecimento científico da mudança do clima e identificar potenciais recursos tecnológicos para a mitigação das emissões e prestar assessoria para desenvolvê-los. As reuniões do SBSTA tem uma agenda própria e discutem desde o roteiro para elaboração dos inventários nacionais pelos países em desenvolvimento, tipo de tecnologias úteis que poderão ser empregadas na Convenção até matérias institucionais e orçamentárias do órgão. (United Nations, 1995)

Em termos globais, o SBSTA faz a ligação entre a parte política das Partes com os grupos científicos e técnicos externos que produzem a informação.

O SBI auxilia a Convenção na avaliação e no cumprimento dos termos nela inclusos e também é composto por membros dos governos signatários da Convenção e envolvidos com a questão das mudanças do clima. O papel fundamental do órgão é o exame das informações contidas no artigo 12 da Convenção (Inventários Nacionais das

Partes e Medidas a serem Implementadas) e auxiliar a Conferência das Partes na preparação e implementação das decisões. (MCT/MRE, 1996)

Pela Conferência das Partes foram estabelecidos grupos de trabalho de caráter temporário : o Grupo AdHoc sobre O Mandato de Berlin (AGBM - Ad Hoc Group on Berlin Mandate), que tem o objetivo básico de possibilitar que os governos possam cumprir ações apropriadas dos níveis de emissão, via a intensificação das obrigações dos países desenvolvidos, adoção de um outro protocolo ou instrumento legal e o Grupo AdHoc sobre o Artigo 13 da Convenção (AG13 - Ad Hoc group on Article 13) que tem o objetivo do estabelecimento do mecanismo de consulta multilateral de questões relacionadas à implementação da Convenção.

II.2.4 - O Fundo Mundial para o Meio Ambiente

O Fundo Mundial para o Meio Ambiente (Global Environment Facility - GEF), estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA e pelo Banco Mundial - BIRD, é a fonte de financiamento interina para atividades e projetos relacionados com a Convenção, principalmente em países em desenvolvimento.

O Fundo Mundial para o Meio Ambiente é um mecanismo para a cooperação internacional com o propósito de outorgar doações e conceder recursos em termos concessionais a países em desenvolvimento para financiar projetos e atividades destinadas à proteção do ambiente global. Os recursos destinam-se, prioritariamente, às seguintes áreas : (i) mudanças climáticas, (ii) proteção da biodiversidade, (degradação de solos e desertificação, se associada a uma ou às duas áreas anteriores) (iii) oceanos ou águas internacionais e (iv) proteção da camada de ozônio.

Três agências internacionais apóiam a formulação e o desenvolvimento de projetos (Bodanski, 1993):

- O PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, encarrega-se das atividades de assistência técnica e capacitação institucional. Através de sua rede mundial de escritórios apoia a identificação de projetos e atividades compatíveis com as finalidades do GEF e com as estratégias para o desenvolvimento sustentável dos países. Ocupa-se também da administração do Programa de Pequenos Projetos para as ONG's e grupos comunitários.

- O PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, atua como agente catalisador do desenvolvimento científico e tecnológico através de um grupo assessor científico e tecnológico composto de especialistas independentes que determinam os parâmetros e orientação do conjunto de atividades do Fundo.
- O BANCO MUNDIAL é o depositário do Fundo Fiduciário e encarrega-se dos projetos de investimento.

II.2.5 - As Conferências das Partes

Mais de 160 Estados assinaram a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima em Junho de 1992 na "Cúpula da Terra", reconhecendo a mudança do clima como "uma preocupação comum da humanidade".

Os Governos que se tornaram Partes da Convenção tem o objetivo final de estabilizar "as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica (provocada pelo homem) perigosa no sistema climático."

A Convenção estabeleceu a Conferência das Partes como órgão supremo da negociação, tendo a prerrogativa de tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implantação da Convenção. A Conferência das Partes deve examinar periodicamente as obrigações dos países signatários, promover e estimular o intercâmbio de informações sobre medidas adotadas, facilitar a coordenação de medidas entre as Partes, promover e orientar metodologias compatíveis de inventários de emissões de gases, analisar os efeitos gerais das medidas implementadas, analisar relatórios sobre a implantação da Convenção, entre outros.

A primeira Conferência das Partes (COP-1) foi realizada em Março de 1995 em Berlin e teve o objetivo de adotar as regras e os procedimentos básicos para a condução do processo de negociação da Convenção. A primeira Conferência das Partes redigiu um documento sobre propostas relacionadas ao protocolo e decisões sobre o seu acompanhamento, a este documento deu-se o nome de Mandato de Berlin. O Mandato de Berlin deu prioridade ao processo de fortalecimento das obrigações para que os países desenvolvidos elaborassem e implementassem políticas, medidas e limitações quantificadas de emissões em prazos determinados. (United Nations, 1995)

A segunda sessão da Conferência das Partes realizou-se em Julho de 1996 em Genebra, Suíça e configurou-se em um fórum de forte negociação política, com a efetiva

presença de delegações oficiais (cerca de 900 delegados e 80 Ministros de Estado). (United Nations, 1996) A posição de reforçar os limites quantitativos de redução de emissões pelos países desenvolvidos foi adotada pela maioria das delegações oficiais presentes.

Foram adotadas 17 decisões formais no âmbito da 2a. sessão da Conferência das Partes, entre as mais importantes, a decisão em torno de procedimentos metodológicos para as comunicações nacionais dos países em desenvolvimento e a decisão de continuar com a fase piloto do programa de Atividades Implementadas Conjuntamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. (United Nations, 1996)

A 3ª Conferência das Partes (COP-3) foi realizada entre 1 e 11 de dezembro de 1997 em Kyoto, Japão. A grande decisão relativa a esta conferência foi a adoção do protocolo de Kyoto em 11 de dezembro de 1997. Neste protocolo, as partes do Anexo I da Convenção do Clima concordam em reduzir em termos globais suas emissões de gases de efeito estufa 5% abaixo do nível alcançado em 1990 entre os anos de 2008 e 2012.

Neste mesmo protocolo ficaram estabelecidos três tipos de mecanismos de flexibilização do abatimento das emissões, a saber:

- Comércio de emissões;
- Implementação Conjunta;
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

A 4ª Conferência das Partes (COP-4) foi realizada em Buenos Aires, Argentina, entre os dias 2 a 13 de Novembro de 1998.

A 5ª Conferência das Partes (COP-5) foi realizada em Bonn, Alemanha entre os dias 25 de Novembro a 05 de dezembro de 1999. Dentre as principais decisões desta conferência tem-se a solicitação para que as partes Não Anexo I façam suas Comunicações Nacionais sobre inventários de emissões tão logo possível e que o Secretariado da Convenção prepare até 01/06/2000 a 2ª Compilação das comunicações recebidas pelas Partes.

Outra conclusão importante refere-se a necessidade das Partes não Anexo I de manterem e aumentarem sua capacidade de preparar suas comunicações nacionais.

III – O Protocolo de Kyoto e os Mecanismos Flexíveis de Abatimento das Emissões

III.1 – O Protocolo de Kyoto e os Objetivos Básicos da Implementação Conjunta

Devido à revisão do cumprimento das obrigações das Partes envolvidas na Convenção do Clima e de sua adequação para se cumprir os objetivos propostos pelos países desenvolvidos de reduzir a níveis de 1990 as emissões de gases de efeito estufa até o ano de 2000, resolveu-se na 3^a Conferência das Partes, criar um compromisso com vinculação legal e que pudesse efetivamente atingir os objetivos da Convenção.

Foi criado então o Protocolo de Kyoto que prevê que os países industrializados devam reduzir suas emissões em pelo menos 5% dos níveis alcançados em 1990 até o período entre 2008 e 2012.

O protocolo só entrará em vigor após a ratificação de pelo menos 55% das emissões de CO₂ em 1990 pelos países industrializados. Até 13 de Janeiro de 2000, 84 países já tinham assinado o protocolo, porém apenas 22 ratificaram.

A Implementação Conjunta (JI - Joint Implementation) e as Atividades Implementadas Conjuntamente (JIJ - Activities Implemented Jointly) são mecanismos acessório da Convenção proposto na Primeira Sessão da Conferência das Partes.

A Convenção endossou o conceito geral de implementação conjunta quando diz que “esforços para reduzir as mudanças do clima podem ser desenvolvidos em regime de cooperação pelas Partes interessadas” artigo 3.3 e permitindo os estados de “implementar políticas e medidas juntamente com outras Partes” artigo 4.2. (Bodanski, 1993)

Seu objetivo básico é o de permitir que iniciativas conjuntas de países possam atingir uma determinada meta de redução de emissões de gases de efeito estufa via provisão de recursos financeiros mediante canais bilaterais entre Partes do Anexo I, mediante a qual os países em desenvolvimento possam se beneficiar.

Originalmente concebidos para realizarem-se entre países desenvolvidos, desde a resolução adotada na 1^a Sessão da Conferência das Partes os projetos de implementação conjunta passaram a incluir também os países em desenvolvimento (JIJ). A fase-piloto prevê que a participação dos países nesses projetos será voluntária. Os projetos de atividades desenvolvidos conjuntamente deverão ser aprovados pelos Governos, e na fase-piloto não produzirão "créditos" para os países financiadores. A Conferência das Partes deverá rever a fase-piloto até o ano 2000 (o que implica, em tese,

a possibilidade de concessão, no futuro, de créditos para os países desenvolvidos), sendo que estrutura desta ação deveria ser estabelecida pelo SBSTA e pelo SBI.

Nas reuniões que se seguiram a primeira sessão da Conferência das Partes foram identificados as posições dos países e a partir da compilação destas informações desenvolveu sugestões para a elaboração de uma estrutura metodológica comum. Além disso, o SBSTA sugeriu que as partes identificassem projetos enquadrados neste tipo de ação e aprovassem o endosso à ação proposta. (United Nations, 1996 b)

Os projetos propostos por este tipo de ação devem no mínimo: (Maya e Gupta, 1996)

- ser compatíveis com as prioridades e estratégias nacionais;
- contribuir para uma abordagem custo-efetividade para alcançar os benefícios globais;
- mensurar os benefícios ambientais de longo prazo relacionados a mitigação da mudança do clima;
- ser implementada sem direito a nenhum crédito por isso durante a fase piloto do programa.

A posição dos países pertencentes ao Anexo I da Convenção (Países Desenvolvidos) é o de que a Implementação Conjunta não deve criar obrigações adicionais e não devem ser empregadas para comprometer presentes, sendo mais adequado a compromissos de longo prazo.

Quanto aos países em desenvolvimento as posições são um pouco mais discrepantes. Alguns delegados aceitam a Implementação Conjunta desde que haja uma forte redução das emissões nacionais dos países desenvolvidos, outros advogam que tais projetos devem servir de alavanca para o desenvolvimento de suas economias. Porém, a maioria dos países em desenvolvimento acha que as obrigações da Implementação Conjunta deve ser adicional e independente das obrigações financeiras das Partes do Anexo II. (Maya e Gupta, 1996)

III.2 - A Posição do Brasil sobre a Implementação Conjunta, Dificuldades e Efeitos Potenciais Positivos

Como foi explanado anteriormente, não existe ainda um conceito definido e consensuado em torno da Implementação Conjunta, visto que a Convenção não define textualmente quais são seus objetivos e como deve ser implementada pelas Partes. De

acordo com seu ponto de vista as Partes tem uma interpretação do que seja este tipo de mecanismo.

A reinterpretação do conceito de implementação conjunta que vem sendo advogada pelos países desenvolvidos no âmbito da Convenção pretende estabelecer um "regime de créditos" pelo qual compensariam, mediante projetos financiados em terceiros países, o descumprimento das metas livremente assumidas e que deveriam ser alcançadas em seus próprios territórios no que se refere à redução das emissões de gases de efeito-estufa. (MCT/MRE,1996)

A posição do Brasil desde a realização da Conferência de Berlin é a de que “a implementação conjunta deve ser um meio adicional e complementar de cumprimento das obrigações assumidas sob a Convenção, e não um expediente pelo qual os países desenvolvidos possam contabilizar créditos em compensação pelo descumprimento de seus compromissos”. (MCT/MRE, 1996)

III.3 – O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi aprovado na Conferência de Kyoto, Japão, como consequência da proposta brasileira para subsidiar o grupo de países em desenvolvimento, G77, na Convenção do Clima. A proposta original do Brasil era a criação de um fundo que seria formado por meio de contribuições dos países do Anexo I que não atingissem suas metas de abatimento previstas na Convenção do Clima. (MCT a , 2000)

Durante a Conferência de Kyoto o fundo foi transformado em um outro tipo de mecanismo, na qual um país pode utilizar certificados de emissão em projetos desenvolvidos em países em desenvolvimento. A redução das emissões seria então creditada aos países que possibilitaram a existência do projeto de redução, contanto que a redução das emissões do projeto fossem adicionais às reduções já geradas, mesmo sem a existência do projeto.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é um dos instrumentos de flexibilização do controle das emissões estabelecido pelo Protocolo de Kyoto. Porém, como o protocolo depende da ratificação dos países, ainda não se pode pensar em utilizar o mecanismo, tendo em vista as dificuldades de sua regulamentação.

Segundo Rosa (2000), o MDL tem dois aspectos distintos básicos, o primeiro é a contribuição para o desenvolvimento sustentável, a atração de investimentos externos,

a melhoria do progresso tecnológico interno e a promoção da capacidade construtiva das instituições. Por outro lado, o MDL traz a oportunidade para o crescimento econômico e a descarbonização da economia.

A questão central do MDL é a falta de certeza que a atração destes investimentos realmente alavancará os objetivos de desenvolvimento sustentável dos países na qual adotaram o mecanismo ou, pelo contrário, a atração destes investimentos apenas servirão para o simples abatimento das emissões de gases de efeito estufa nos países do Anexo I. O potencial de aplicação do MDL nos países em desenvolvimento é enorme, porém há que ficar claro as distinções entre os projetos puramente de comércio de emissões entre mercados e projetos orientados para o desenvolvimento sustentável e para o desenvolvimento local daqueles países na qual os projetos se desenvolverão. Caso seja a primeira opção, o MDL será uma versão do mecanismo de Implementação Conjunta, constituído apenas por negócios entre as partes interessadas.

Segundo o ponto de vista oficial do Brasil, os certificados de abatimento das emissões deverão ser apresentados pelas partes não Anexo I da Convenção do Clima ao Secretariado do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, sendo que estes projetos só poderão ser apresentados, se aprovados por uma autoridade nacional, que servirá de órgão certificador e regulador do real abatimento das emissões especificados nos certificados. (MCT a, 2000)

Dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo não haverá distinção pelas oportunidades mais baratas de redução das emissões, já que as autoridades nacionais farão a seleção dos projetos segundo critérios de elegibilidade próprios, por outro lado, não haverá criação de dívidas por parte de uma das partes e desta forma não será criado um sistema de passivo ambiental, tal qual se criará no mecanismo de Implementação Conjunta. (MCT b, 2000)

As atividades de abatimento das reduções poderão ser implementadas de forma independente do custo total do projeto, já que o custo da atividade a ser proposta será uma resultante dos esforços de abatimento de cada atividade. Também no MDL não existe o conceito de país doador e de país anfitrião. As emissões dos certificados podem ser realizadas entre os países não Anexo I e no final do processo ser vendida a um país do Anexo I para abater sua emissão total junto ao órgão regulador do MDL. (MCT b, 2000)

IV - Caracterização do Setor Energético Brasileiro

IV.1 - Descrição do Setor Energético Brasileiro

Este trabalho analisa a questão da geração hidrelétrica e a questão do efeito estufa. De forma a mostrar a importância da energia hidráulica no país, é feito aqui uma breve descrição do setor energético (com ênfase no setor elétrico), dando ao leitor, condições de analisar o papel das centrais hidrelétricas no Brasil.

A energia primária processada no Brasil não é totalmente produzida no país, pois parte dela provém de importações. A Tabela 3 a seguir mostra a dependência externa das fontes de energia primária no ano de 1998.

As fontes de energia primáriaⁱⁱ são o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, o urânio, a energia hidráulica, a lenha, os produtos da cana-de-açúcar e outras fontes primárias. Estas fontes de energia são mensuradas pelas suas respectivas unidades físicas de medida, tais como, tonelada, metro cúbico, quilograma, etc..

Tabela 3 - Fontes de Energia Primária no País - Ano de 1998

(Unidade: 10³ tEP)

Fonte	Produção	Importação	Oferta Interna	% Importação da Oferta Interna
Petróleo	49.571	27.973	77.314	36,18
Gás Natural	10.443	0	10.443	0
Carvão Mineral	2.043	9.502	11.258	84,40
Urânio	23	5.312	4.990	
Energia Hidráulica	84.498 ⁱⁱⁱ	0	84.498	0
Lenha	21.233	4	21.237	0
Produtos da Cana	24.966	0	24.966	0
Outras Primárias	3.385	0	3.385	0
Total	196.162	42.791	238.091	17,98

Fonte: Ben, 1999

ⁱⁱⁱ entende-se por energia primária aquela que é provida diretamente pela natureza sem sofrer nenhum processo de transformação. 1 tEP = 10.800 kcal

A participação das fontes primárias de energia renovável sempre foi superior às fontes não renováveis na matriz energética nacional. A participação da energia não renovável situa-se num patamar de 42% e a renovável em torno de 58%, conforme a Tabela 4. Entre o ano de 1994 e 1998, a evolução da fonte primária não renovável cresceu 21,89% e a renovável cresceu 11,27% no período. (Tabela 4)

Tabela 4 - Crescimento da Oferta Interna de Energia (Fontes de Energia Renovável e Não Renovável) no Período de 1994 a 1998 Unidade: 10³ tEP

Fonte de Energia	1994	%	1995	%	1996	%	1997	%	1998	%
Primária Não Renovável ^{iv}	81.602	38,71	87.025	39,73	94.874	41,14	100.886	41,53	104.477	41,77
Primária Renovável ^v	129.187	61,29	131.971	60,27	135.696	58,86	141.992	58,47	145.611	58,23
Total	210.789	100	218.996	100	230.570	100	242.878	100	250.088	100

Fonte: Ben, 1999

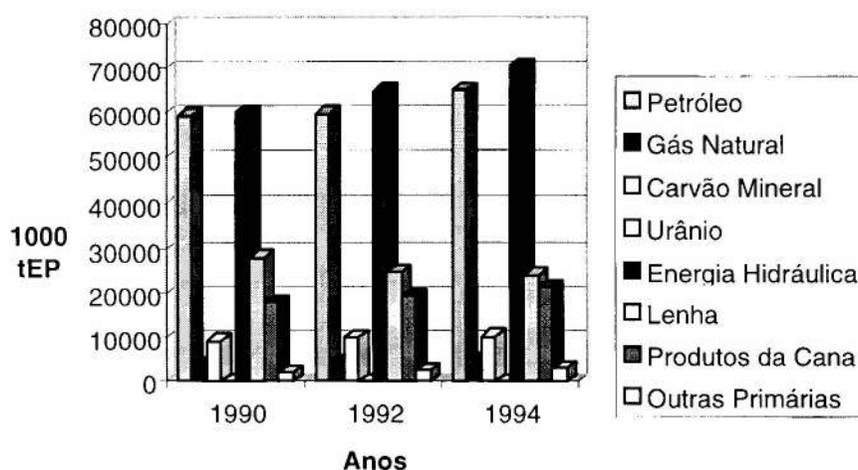


Figura 4 - Fontes Primárias de Energia no Período 1997 a 1998

Fonte: Ben, 1999

ⁱⁱⁱ a unidade utilizada representa uma equivalência de 0,29 tEP/MWh, coeficiente determinado com base na quantidade de óleo combustível necessária para produzir a mesma quantidade de energia elétrica em uma central convencional a óleo.

^{iv} Inclui Petróleo, Gás Natural, Carvão Mineral e Urânio

^v Inclui Energia Hidráulica, Lenha, Produtos da Cana e Outras Fontes

O potencial de energia hidráulica do país é de 129 GWano de energia firme e 261 GW de capacidade instalável, sendo que o potencial hidrelétrico a aproveitar é de cerca de 102 GWano de energia firme e 205 GW de capacidade, ou seja , o Brasil aproveitou apenas 21% de seu potencial hidráulico. Desse total, 50% está situado na região amazônica.(Eletrobrás, 1995)

O parque gerador de energia elétrica é hoje constituído principalmente de centrais hidrelétricas, com uma participação de cerca de 97% de origem hídrica.

A produção de origem térmica é bastante reduzida e destina-se basicamente a complementação de carga ou abastecimento de sistemas isolados, como é o caso de diversas regiões da Amazônia. De acordo com o Plano 2015 da Eletrobrás, a energia hidráulica é aquela que apresenta melhores perspectivas de aproveitamento no país, pois o custo da expansão ainda é considerado inferior a muitas outras alternativas possíveis. As razões para tal referem-se ao fato da mesma ser uma fonte renovável, pela existência de uma experiência consolidada no campo destes aproveitamentos e pela viabilidade técnico e econômica da transmissão em longa distância.(Eletrobrás, 1995)

O consumo total de carvão mineral no Brasil é composto por duas partes. A primeira é o carvão vapor produzido internamente no país e a segunda é o carvão metalúrgico que abastece o setor siderúrgico brasileiro, quase todo ele importado. O carvão vapor brasileiro possui um poder calorífico baixo, com altos teores de cinzas (em torno de 50%) e com grande quantidade de enxofre (de 2 a 4%). Tendo em vista tais características, seu consumo se restringe às localidades próximas a sua ocorrência. Já os carvões disponíveis no mercado internacional tem um conteúdo energético superior e baixos teores de cinzas e de enxofre, o que resulta que seus custos de produção se tornem mais competitivos.

A Eletrobrás fez um estudo sobre a potencialidade da utilização do carvão vapor brasileiro, considerando inclusive novas tecnologias de geração de eletricidade, como por exemplo as caldeiras com combustão em leito fluidizado e o ciclo combinado, onde este potencial foi associado às reservas existentes no país. O estudo concluiu, caso o país optasse por tecnologias de ponta de geração termelétrica, o potencial do carvão brasileiro, associado às reservas é suficiente para atender a expansão, além do horizonte do plano de expansão de longo prazo do setor (Plano 2015). (Eletrobrás, 1995)

Este potencial está disposto por região produtora do país na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Potencial Termelétrico Brasileiro - Reservas de Carvão Vapor

Unidade:MW

Estado	Medidas e Indicadas	Inferidas e Marginais	Total Identificado
Rio Grande do Sul	27.200	29.500	56.700
Santa Catarina	1.750	450	2.200
Paraná	260	-	260
Total	29.210	29.950	59.160

Fonte: Eletrobrás, 1995

A produção de urânio no país é pequena, pois o programa nuclear brasileiro não foi totalmente implementado. Das oito centrais nucleares previstas apenas duas foram contratadas (Angra II e III), sendo que Angra II encontra-se em testes, com o início de seu funcionamento previsto para o primeiro semestre de 2000. Fora do programa nuclear com a Alemanha, está em operação a central de Angra I. As reservas brasileiras de urânio são significativas, porém a prospecção é reduzida. Atualmente, apenas a reserva de Poços de Caldas apresenta-se em condições de produção, com uma capacidade nominal de 100t de U_3O_8 por ano.

IV.2 - A Atual Configuração do Setor Elétrico Brasileiro

A energia hidráulica ganhou impulso na década de 1960, com a participação estatal no setor elétrico, através da construção de grandes aproveitamentos hidrelétricos. A partir daí, a oferta bruta de energia de origem hidráulica cresceu, na média, 12,5% a.a., na década de 1970, 6,1% a.a., na década de 1980 e 4,2% a.a., entre 1990 a 1994 (contabilizando-se nestes dois últimos períodos, a parcela de energia importada da participação paraguaia na UHE de Itaipu).

Em 1994, a energia hidráulica já representava 33% da oferta interna bruta total de energia, sendo responsável por cerca de 97% do suprimento de eletricidade no país (figura 5), em 1998 este valor reduziu-se para 95%. Neste mesmo ano, a eletricidade atendeu a cerca de 38% do consumo final energético do país.

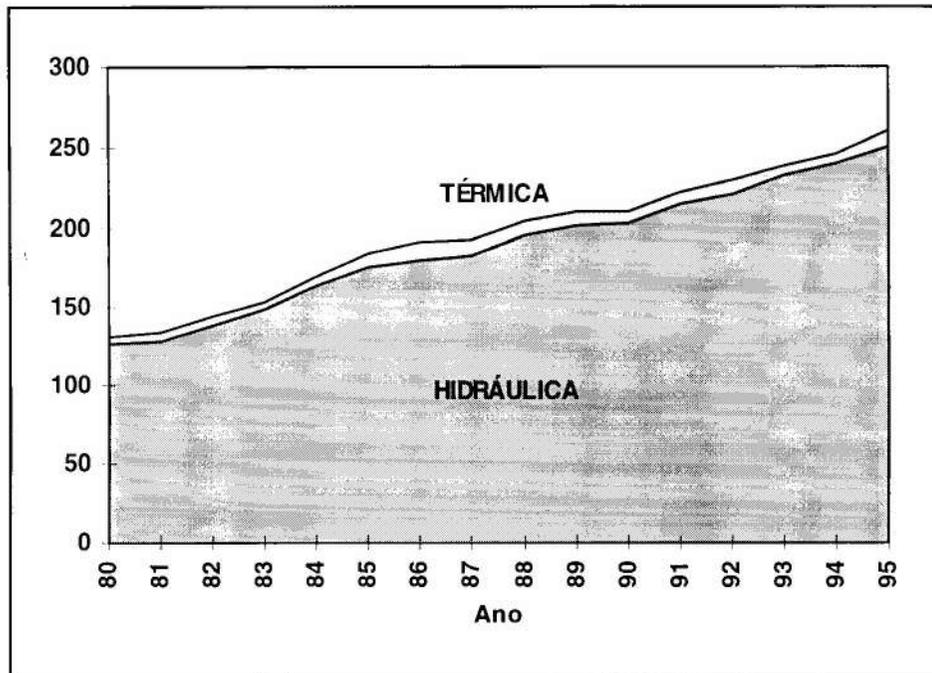


Figura 5 - Geração de Eletricidade (TWh)

Fonte: (BEN, 1999)

Internamente às fontes de energia termelétrica a distribuição para o ano de 1995 era a seguinte, conforme os dados do Balanço Energético Nacional de 1999:

Para as centrais do serviço público, que tem um parque atual muito reduzido, a geração de energia elétrica foi de 3.650 GWh em centrais à carvão vapor, 2.718 GWh em plantas de óleo diesel, 1.312 GWh em centrais à óleo combustível e 2.519 GWh na central nuclear de Angra I. A Figura 6 abaixo mostra a participação relativa de cada fonte na geração termelétrica do serviço público.

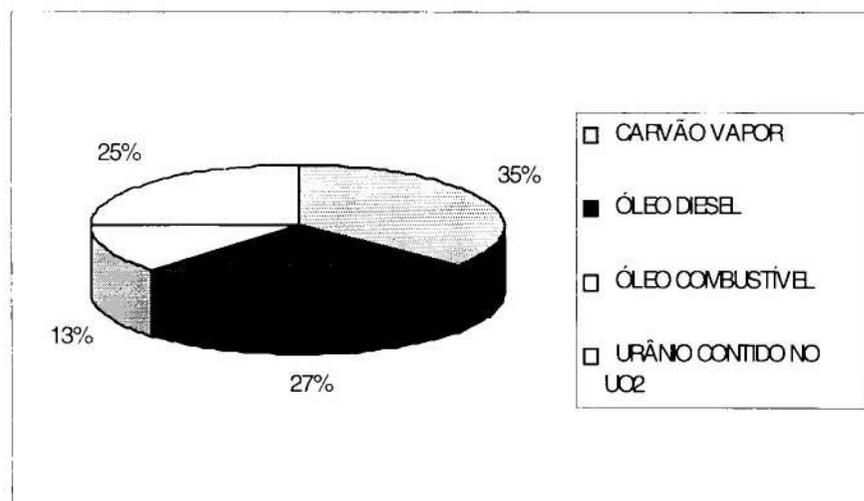


Figura 6 - Participação Percentual das Fontes de Geração Termelétricas Públicas

Fonte: Ben, 1999

No caso das centrais termelétricas autoprodutoras, que são em número de unidades bem maior do que as públicas, a geração de energia elétrica no ano de 1995 foi de: Gás Natural - 560 GWh, Carvão Vapor - 276 GWh, Lenha - 644 GWh, Bagaço de Cana-de-Açúcar - 2.450 GWh, Lixívia - 2.205 GWh, Outras Recuperações - 1.540 GWh, Óleo Diesel - 379 GWh, Óleo Combustível - 2.093 GWh, Gás de Coqueria - 137 GWh, Outras Secundárias - 1.054 GWh.

A Figura 7 a seguir ilustra a participação de cada fonte na geração termelétrica de auto-produtores de energia elétrica.

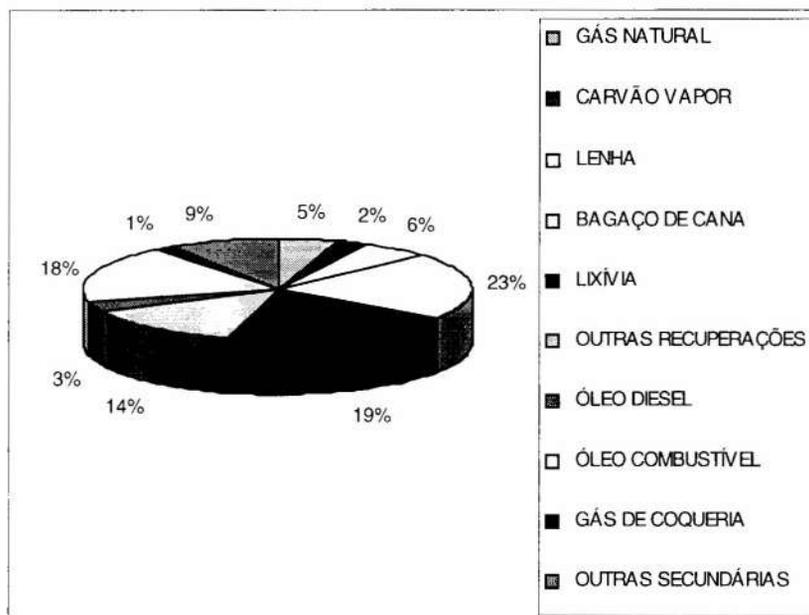


Figura 7 - Participação Percentual das Fontes de Geração Termelétricas Auto-Produtoras

Fonte: Ben, 1999

V - Descrição dos Reservatórios Hidrelétricos Mensurados e dos Critérios de Escolha Adotados

V.1 - Critérios de Escolha dos Reservatórios

O trabalho procurou estabelecer uma faixa de variação de parâmetros que pudesse influenciar nos resultados. Desta forma, buscou-se uma amostra que contemplasse no mínimo os extremos da variação dos parâmetros propostos. Devido à experiência teórica até então adquirida e a base empírica dos trabalhos anteriores, tinha-se a opinião de que dois fatores eram fundamentais no processo de geração de gases: a temperatura e a vegetação afogada.

Desta forma, optou-se por realizar as medições nas áreas de vegetação dominadas pela floresta amazônica e temperaturas médias altas, vegetação de caatinga com clima característico do semi-árido brasileiro, vegetação de cerrado com temperaturas médias altas, vegetação tipo Mata Atlântica e por vegetação sub-tropical e clima marcadamente temperado.

Com esta divisão bio-climática observou-se que havia também uma divisão baseadas por faixas de latitude, já que a ocorrência destes biomas anteriormente descritos apresentam dependência com a variação da latitude.

V.2 - Reservatório Hidrelétrico de Miranda

A hidrelétrica de Miranda pertence à CEMIG e situa-se na região do Triângulo Mineiro, próximo aos municípios de Araguari e de Uberlândia. (Figura 8)

Miranda teve sua obra iniciada no ano de 1990 e no dia 1º de agosto de 1997 iniciou-se o fechamento das comportas da barragem e o enchimento do lago. O reservatório da hidrelétrica de Miranda situa-se no rio Araguari, que inundou cerca de 50,6 km² (Figura 9). A capacidade instalada da usina é de 390 MW de potência

A área da bacia do rio Araguari apresenta duas fases climatológicas predominantes, com a estação seca entre junho e agosto e a estação chuvosa entre dezembro a março (IESA, 1996).

Segundo estudos realizados na época do projeto da hidrelétrica (IESA, 1995), a área do reservatório inundou os seguintes tipos de vegetação: Cerradão, Cerrado, Campo Sujo/Pasto Sujo, Campo de Várzea, Campo de Murundus, Pasto Limpo, Culturas Perenes, Culturas Anuais, Reflorestamento e Reflorestamento cortado.

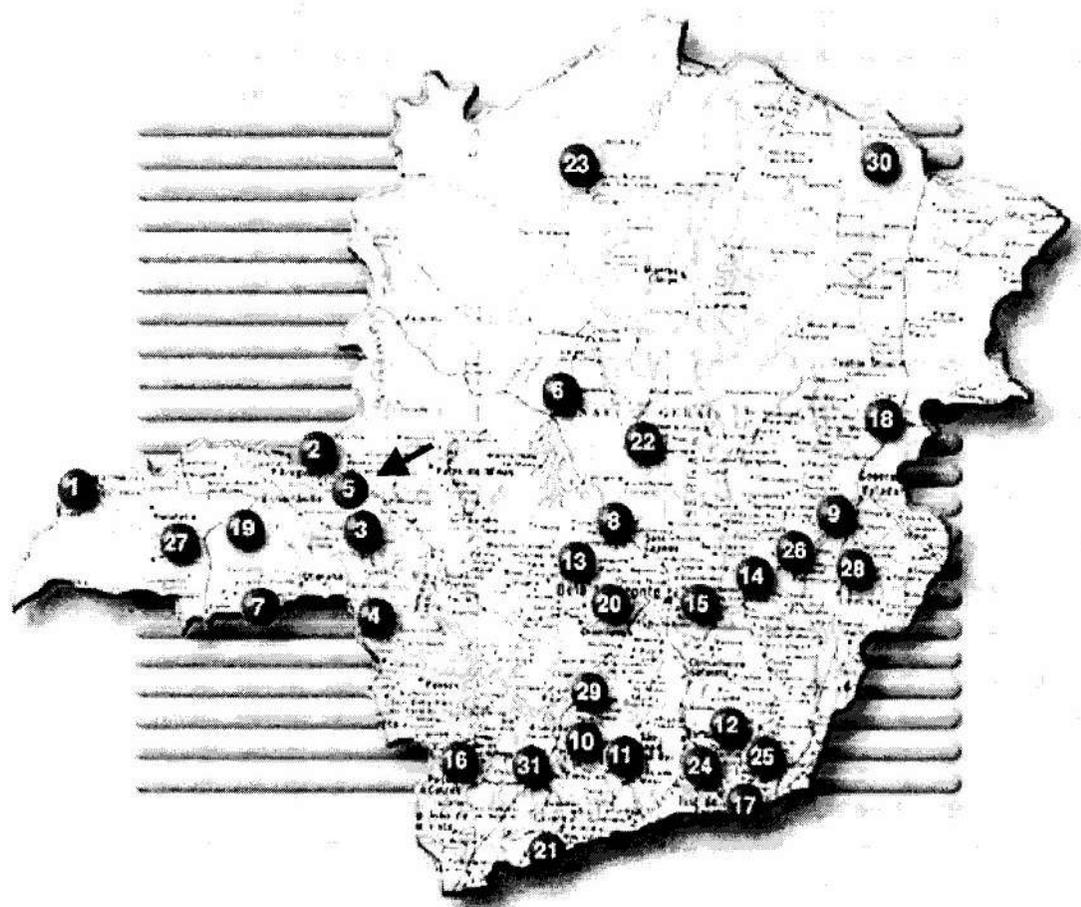


Figura 8 – Localização da Hidrelétrica de Miranda

Fonte: Home-Page ,CEMIG

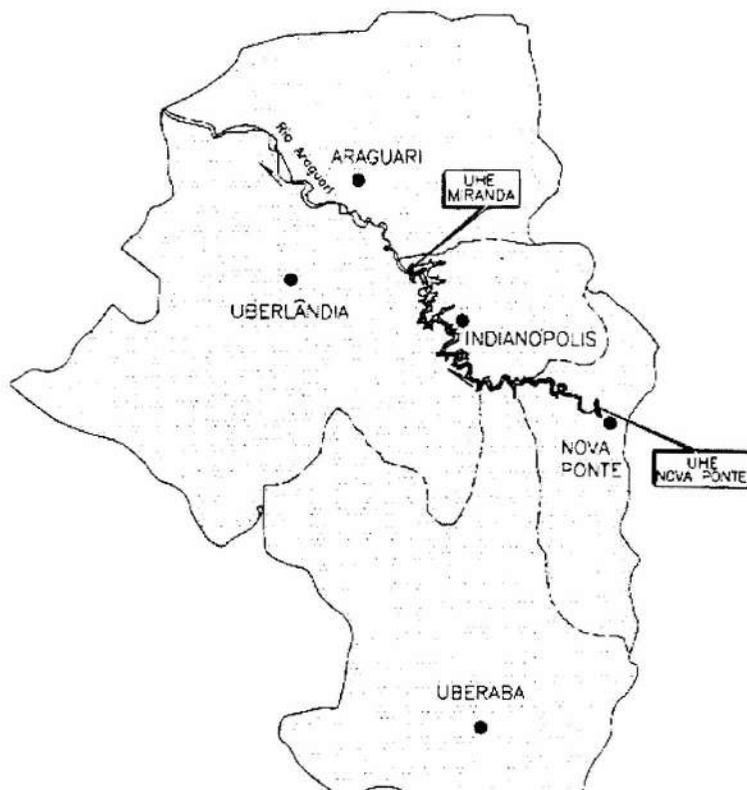


Figura 9 – Detalhe de Localização do Reservatório da Hidrelétrica de Miranda
Fonte: CEMIG



Fonte 1 – Visão Geral da Hidrelétrica de Miranda
Fonte: Home-Page CEMIG

Abaixo, temos como exemplo uma área de cerradão, recentemente afogada pelo enchimento do reservatório hidrelétrico. Como podemos observar na foto, parte da vegetação permanece inundada, porém ainda há algumas espécies mais resistentes que ainda permanecem vivas, como o babaçu mostrado na foto. (Foto 1)



Foto 1 – Área Recentemente Inundada pelo Reservatório Hidrelétrico de Miranda
foto M.A. Santos

V.3 - Reservatório Hidrelétrico de Três Marias

O reservatório hidrelétrico de Três Marias, situa-se no rio São Francisco, na região do Alto São Francisco, a montante de Pirapora, a cerca de 270 km de Belo Horizonte. É um reservatório construído conjuntamente entre a CODESVASF e a CEMIG.

Na figura abaixo, o reservatório de Três Marias corresponde ao número 6. (Figura 10)

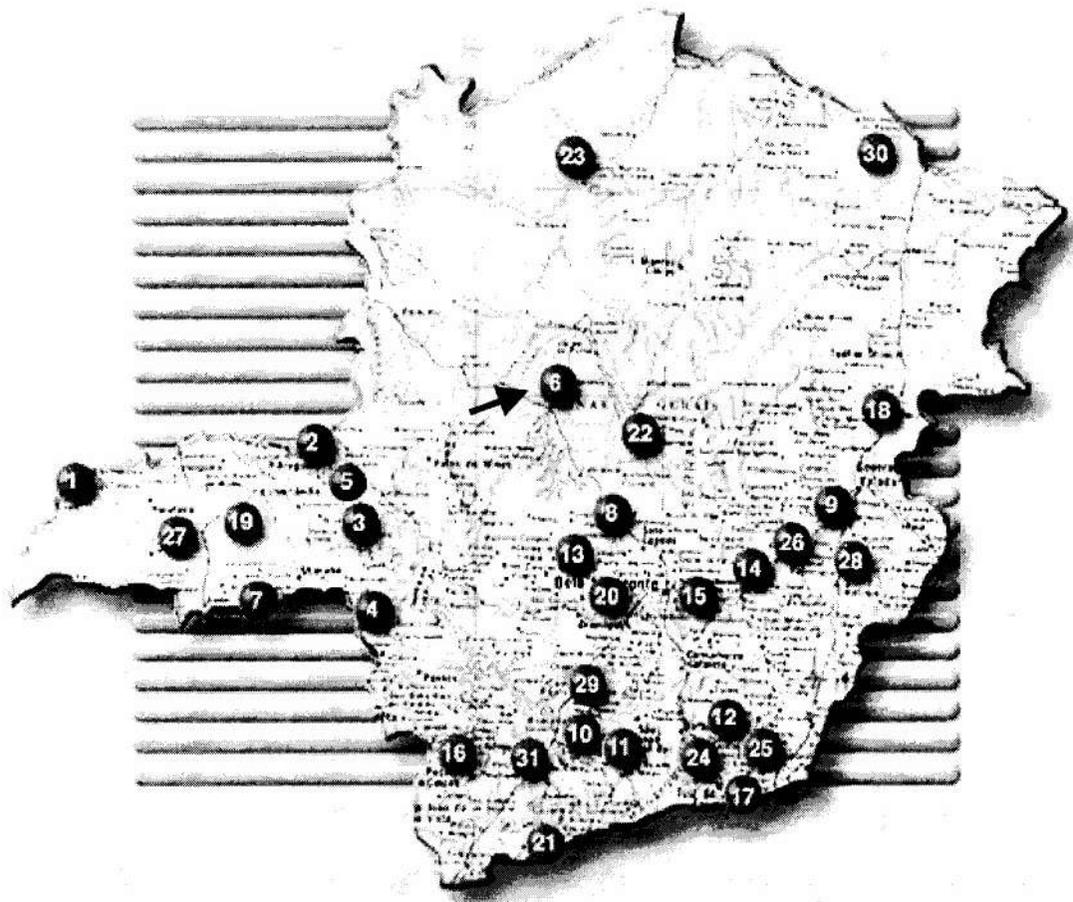


Figura 10 – Localização dos Reservatórios da CEMIG

Fonte: Homepage da CEMIG (www.cemig.gov.br)

Esta usina iniciou sua operação no ano de 1962, com seis unidades geradoras de 66 MW de potência. A potência instalada na primeira etapa é de 396 MW. No projeto está previsto uma potência final de 516,85 MW. O reservatório tem cerca de 1.700 km² de área e um volume de água de 21 bilhões de m³. (Figura 11)

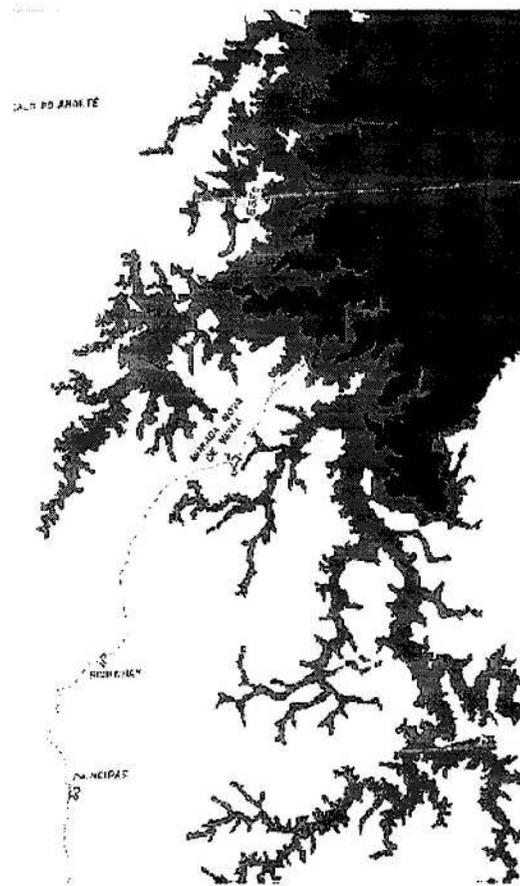


Figura 11 – Área do Reservatório Hidrelétrico de Três Marias

Fonte: Prefeitura Municipal de Três Marias

As fotos a seguir, mostram uma visão geral da área do reservatório e o tipo de vegetação encontrada nas margens do reservatório e a presença de frações da biomassa inicial afogada pelo enchimento do lago, ainda praticamente intactas desde o enchimento do lago, como é o caso de tronco de árvores que se encontram parcialmente decompostos e emerso em uma região abrigada do reservatório (Foto 2 e 3)

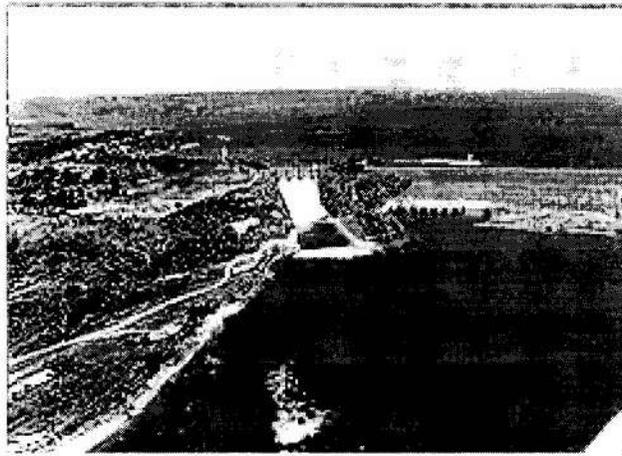


Foto 2 – Vista Geral do Reservatório de Três Marias

Foto: Home-Page Cemig

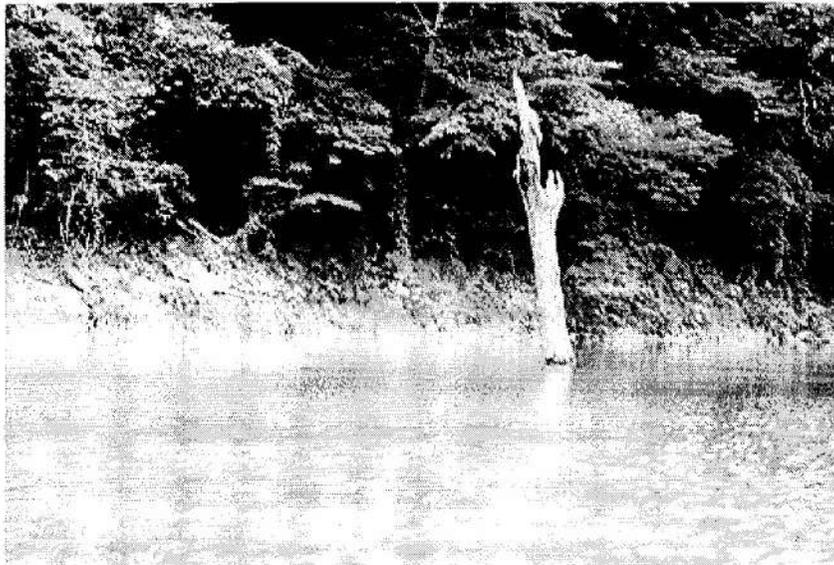


Foto 3 – Parcela da Biomassa Inicial Afogada Intacta

foto M.A.Santos

v.4 - Reservatório de Barra Bonita

O reservatório hidrelétrico de Barra Bonita pertence a CESP e situa-se no rio Tietê, na região do médio Tietê, entre as cidades de Barra Bonita e Igarapu (SP). É uma reservatório antigo, construído em 1964. A usina hidrelétrica de Barra Bonita tem uma potência nominal de 104,76 MW e uma área do reservatório de 308 km². É um reservatório bastante eutrofizado, pela alto grau de poluição orgânica que o reservatório recebe da região metropolitana de São Paulo. A figura 12 abaixo mostra a localização deste reservatório na bacia do rio Tietê. (Figura 12)

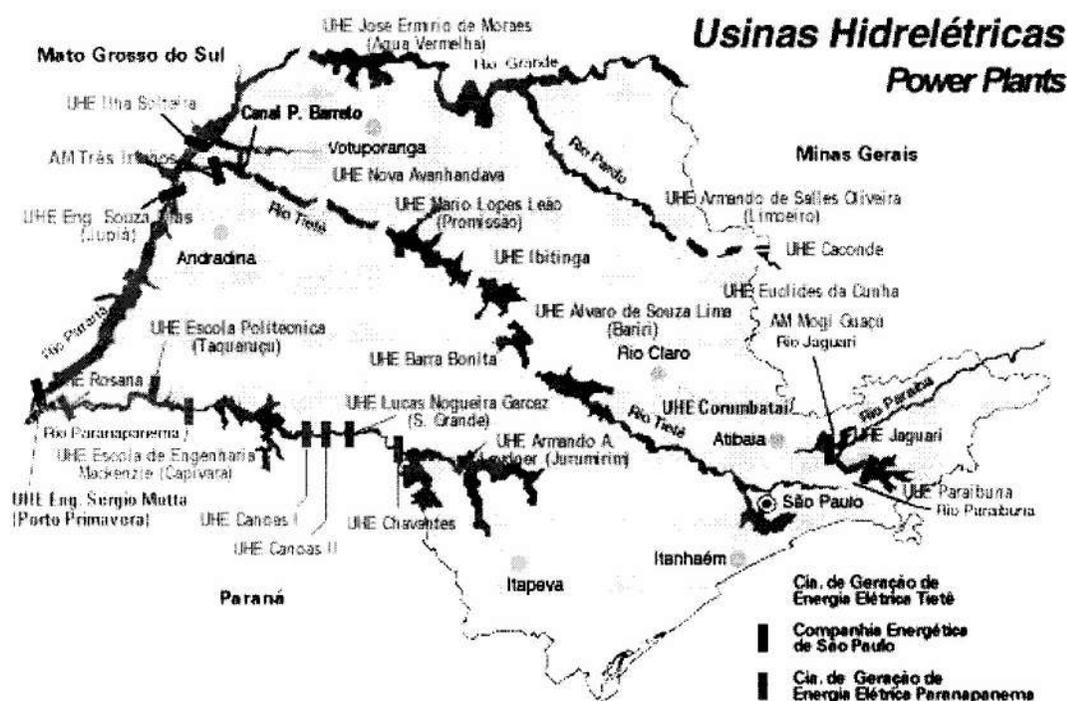


Figura 12 – Localização do Reservatório Hidrelétrico de Barra Bonita
Fonte: HomePage, CESP

V.5 - Reservatório de Segredo

O reservatório de Segredo pertence a COPEL e situa-se no rio Iguaçu(PR), na região no médio curso do rio Iguaçu, próximo à desembocadura do rio Jordão, no município de Pinhão(PR). O lago tem uma área de 82,5 km² para uma potência total da usina de 1.260 MW.

O reservatório tem um volume total de 3.000.000 m³. A barragem foi fechada no ano de 1992 e a profundidade média do reservatório é de 36,6 metros. A barragem da

usina tem 145 metros de comprimento, do tipo enrocamento com face em concreto. (Agostinho e Gomes,1997)

As temperaturas médias da região oscilam entre 17 a 18° C, com mínimas absolutas de -7° C e máximas de 38° C (Agostinho e Gomes, 1997). A figura abaixo mostra a localização do reservatório de Segredo na bacia do rio Iguaçu. (Figura 13)



Figura 13 – Localização Geográfica do Reservatório de Segredo
Fonte: Home-Page, COPEL

Segundo estudo realizado pelo NUPELIA/UEM, a antiga área inundada pelo reservatório de Segredo era dominada pela matas do tipo de araucária, vegetação bastante incidente da região sul do país, ricas em taquarais e palmáceas e pela mata subtropical interior (Agostinho e Gomes, 1997). Dois terços desta mata original já havia sido devastada e transformada em outros tipos de culturas, tais como: matas secundárias e roçados de rotação de culturas, intercalados com áreas de capoeira, matões e matas de galeria.

A foto 4 , a seguir, traz uma vista panorâmica do vertedouro e da tomada d'água da usina de Segredo, mostrando ao fundo manchas mais claras na vegetação que representam áreas desmatadas intercaladas com áreas de vegetação natural.

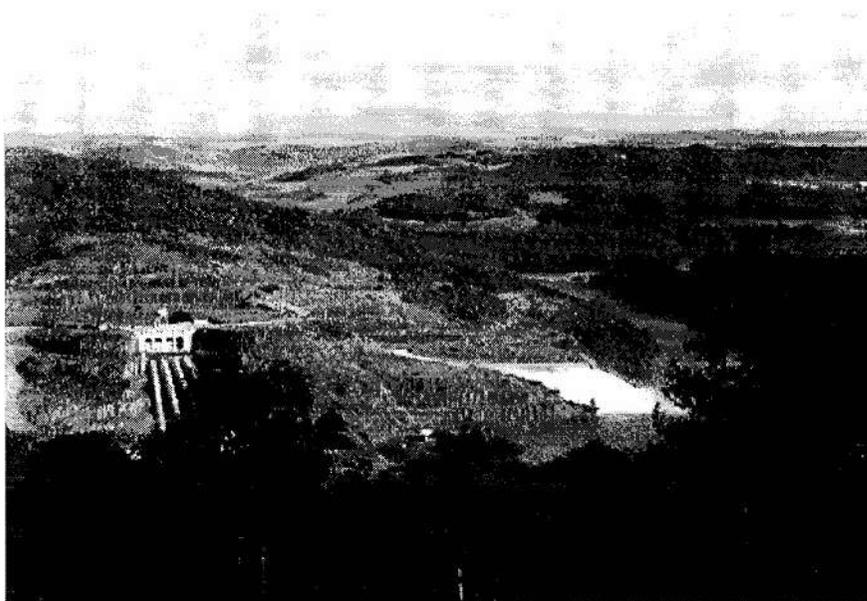


Foto 4 – Vista Geral da Tomada d’água da Usina Hidrelétrica de Segredo
foto M.A.Santos

O reservatório de Segredo pode ser considerado um lago profundo , podendo atingir em alguns pontos 100 metros de profundidades e com uma profundidade média de 36 metros. O tempo de renovação da água é de cerca de 50 dias e é considerado um reservatório de condições mesotróficas.

Estudos limnológicos anteriores (Agostinho e Gomes, 1997), mostraram que o reservatório apresenta estratificação térmica e presença de termoclina no verão e no outono, em locais próximos a barragem. A foto 5 , a seguir mostra uma vista panorâmica do eixo da barragem e a estação de piscicultura ao fundo.

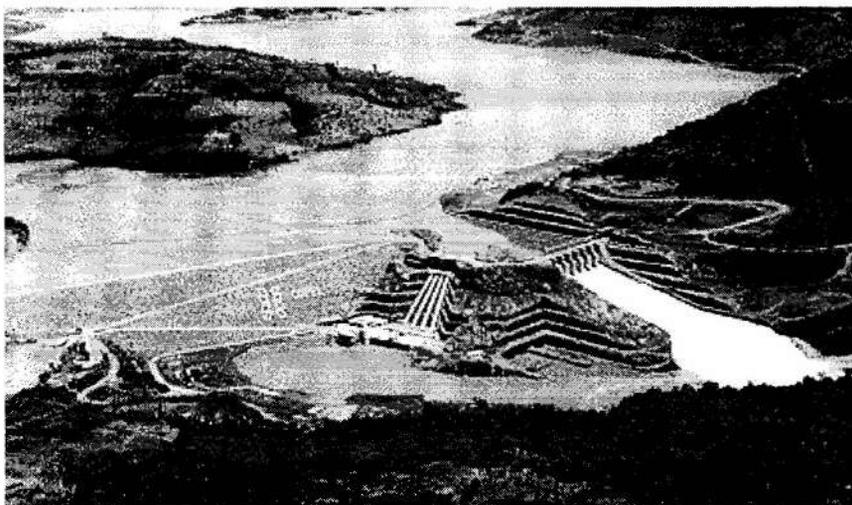


Foto 5 – Vista Geral do Eixo da Barragem da Hidrelétrica de Segredo
Foto: Home-Page COPEL

V.6 - Reservatório de Xingó

O reservatório da hidrelétrica de Xingó pertence a CHESF e situa-se no rio São Francisco, no baixo curso da bacia do São Francisco, nas divisas dos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia.

A área de influência do empreendimento compreende a região a jusante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso até a cidade de Piranhas em Alagoas e o povoado de Canindé do São Francisco no Sergipe, conforme podemos observar na figura que se segue. (Figura 14)

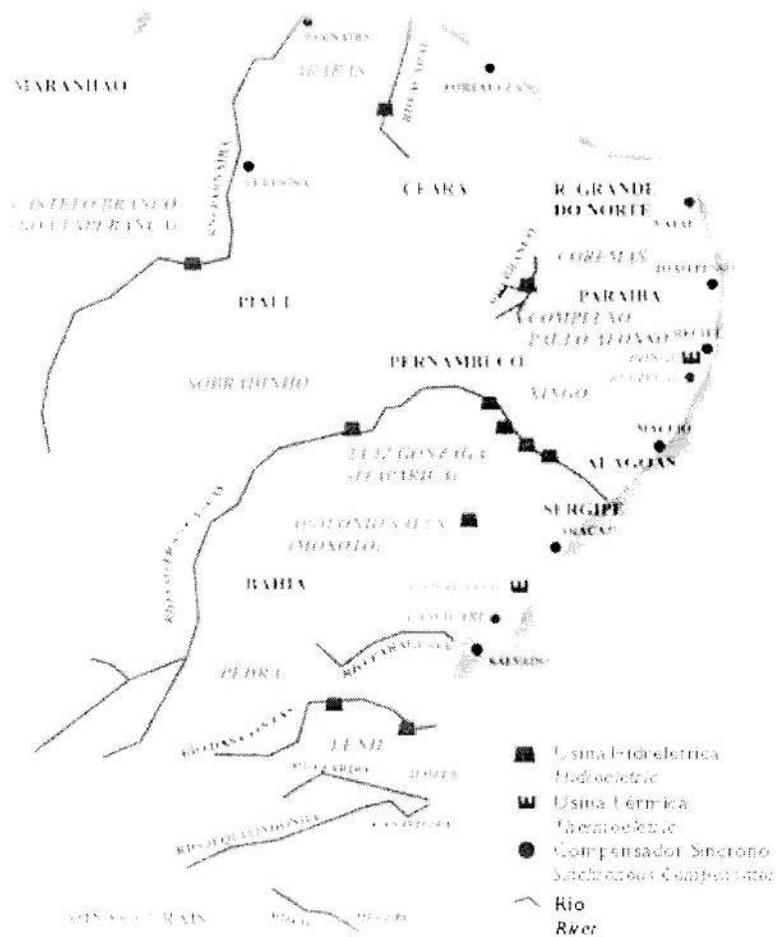


Figura 14 – Localização do Reservatório da Hidrelétrica de Xingó
Fonte: Home-Page CHESF



Foto 6 - Vista Aérea Após a Barragem e do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Xingó

Foto: M.A.Santos

A hidrelétrica de Xingó tem uma potência total de 3.000 MW instalados. A área de drenagem da bacia contribuinte de Xingó é de 608.700 km², com uma descarga média mensal de 2.980 m³/s. A área do reservatório é de 60 km² e o comprimento atinge cerca de 60 km. Xingó está encravado em uma grande canyon do São Francisco e opera praticamente a fio d'água. (Foto 6)

O enchimento de Xingó foi iniciado em 7 de julho de 1994 e já no dia 16 do mesmo mês o reservatório já encontrava-se praticamente cheio.

O clima na região da hidrelétrica é quente com temperaturas médias em torno de 25° C e totais pluviométricos anuais entre 413 a 907 mm /ano. O trimestre mais chuvoso é entre maio/julho e o mais seco entre setembro/novembro.

Basicamente nesta região, a vegetação dominante é a caatinga, constituída por árvores de pequeno porte, arbustos caducifólios, plantas suculentas e espinháceas. É um tipo de vegetação adaptada a falta de água. Na área do reservatório de Xingó domina a caatinga hiperxerófila, dividida entre estratos arbóreos, arbustivos e arbustivo-arbóreo. Em outras áreas de influência do reservatório podem ocorrer contatos com o cerrado ralo e com a floresta estacional decidual.

V.7 - Reservatório de Samuel

A Usina Hidrelétrica de Samuel pertence a Eletronorte e situa-se na bacia do rio Jamari, próximo a Porto Velho, capital do estado de Rondônia. A usina tem potência de 219 MW e o reservatório tem uma área de 559 km². (Figura 15)

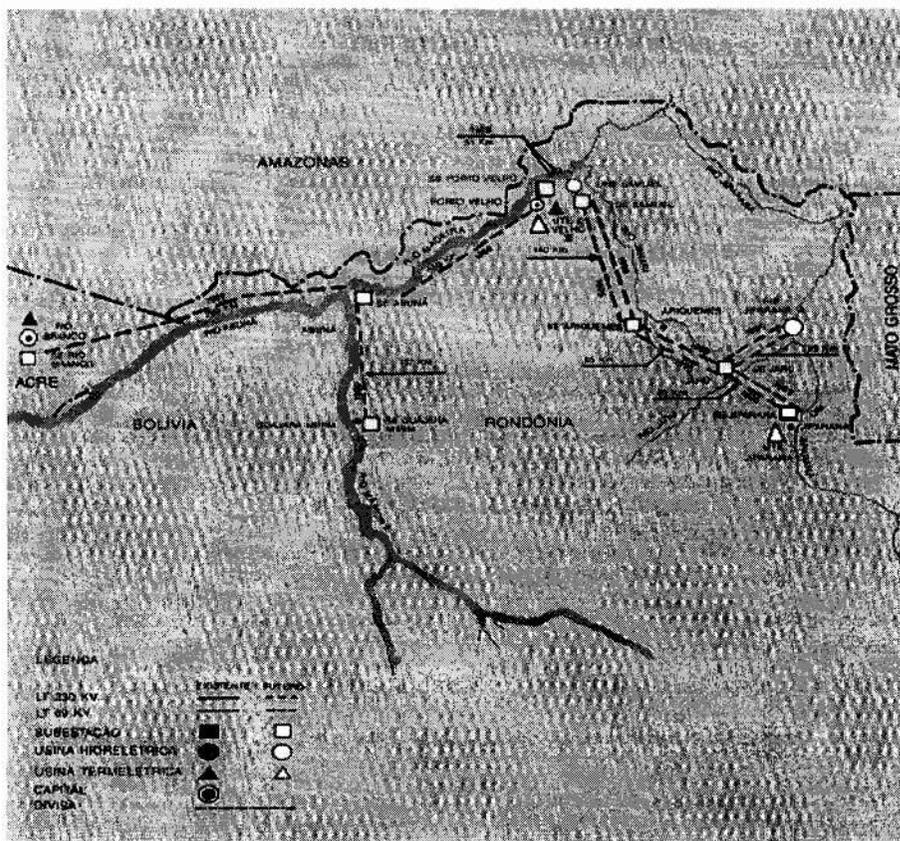


Figura 15 – Localização do Reservatório da Usina de Samuel

Fonte: Encarte Eletronorte

No Reservatório de Samuel foram identificados 7 tipos diferentes de formações florestais, a partir de dados da fitomassa inventariados em 13 hectares, divididos em quadras. O resultado da extrapolação da fitomassa para os diversos tipos de florestas encontradas foram: (Cardenas, 1986)

TABELA 6- Dados de fitomassa por tipo de floresta na área da UHE de Samuel

Tipo de Vegetação	(A) área ha	(B) %	(C) Peso Úmido t/ha	(D) = A x C Peso Total (t)
Floresta Mista Ciliar Estacional Inundável	2.363	3,65	196	463.148
Floresta Densa Terra Firme Relevo Plano	34.580	53,36	525	18.154.500
Floresta Aberta Terra Firme Emergentes	3.693	5,7	390	1.440.270
Floresta Semi-Aberta Terra Firme c/ Afloramentos Rochosos	1.524	2,35	310	472.440
Floresta Aberta terra Firme Relevo Mal Drenado	11.370	17,55	286	3.251.820
Área Desprovida de Cobertura Vegetal	3.935	6,07	-	-
Vegetação Secundária (inclusive desmatamento)	3.565	5,50	85	303.025

Fonte: Cardenas, 1986

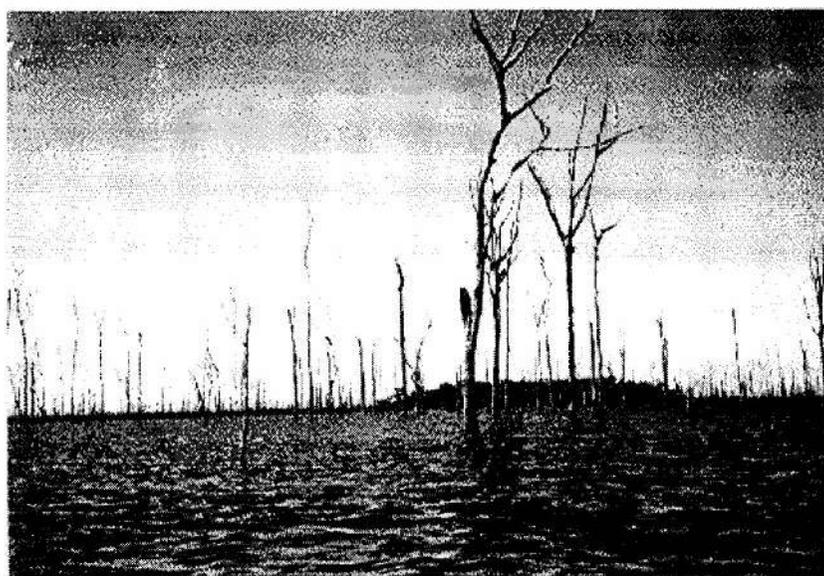


Foto 11- Área do Reservatório de Samuel com Vegetação Afogada ao Fundo (Paliteiro)

Foto: Ronaldo Lourenço

No caso da divisão da biomassa total da área do reservatório em segmentos, os valores médios encontrados foram:

- FUSTE: 285 ton./ha; GALHOS: 185 ton./ha; GALHOS FINOS: 25 ton./ha; FOLHAS: 5 ton./ha; LITTER: 10 ton./há

A tabela 7, a seguir, fornece com mais detalhe os valores de biomassa a partir da extrapolação para duas quadras (01 e 02) da área do reservatório de Samuel.

Tabela 7 - Resultados de Inventário de Fitomassa nas quadras 01 e 02 (UHE SAMUEL)

Variável	Quadra 01 (t/ha)	Quadra 02 (t/ha)
Fuste	184,99	178,80
Galhos Grossos	66,92	59,59
Galhos Médios	22,63	26,82
Galhos Finos	32,77	12,54
Folhas	11,65	29,67
Casca	44,24	16,48
Cipó	4,59	10,77
Raizame	1,96	10,60
Litter	9,38	5,35
Folhas Sub-Bosque	11,13	2,50
Galhos Sub-Bosque	1,83	9,09
Sub-Total	396,09	363,21
Cipó Adicional	0,72	2,09
Litter Adicional	0,96	3,43
Galhos Secos	1,15	4,59
Troncos Secos	4,18	2,93
Total	403,10	375,25

Fonte : Cardenas, 1986

- ZONA 1- MATA ALTA, homogênea sobre o relevo dissecado.
- ZONA 2- MATA DE PORTE MÉDIO A BAIXO, muito desmatada situada a margem do rio.
- ZONA 3- MISTO DE MATAS ALTAS E DENSAS COM BAIXAS E POUCO DENSAS.
- ZONA 4- MALTA ALTA, homogênea, em relevo mais suave, área desmatada, alturas e capoeiras.
- ZONA 5- MANCHAS de vegetação sobre o solo branco arenoso.
- ZONA 6 – vale do rio Tocantins
- ZONA 7- VALE DO RIO CARAIPÉ
- ZONA 8- ZONA DE MATA, inundável estacionalmente.

O trabalho também cita que após o ano de 1979, base das fotografias aéreas, foram feitos desmatamentos pela CAPEMI. A tabela 8, fornece resultados de estimativa da fitomassa por classe de mata e por segmento da biomassa, com base nas fotografias aéreas de 25 de junho de 1979.

TABELA 8 - Resultado da Fitomassa Inventariada na Área do Reservatório de Tucuruí.

Zonas/Classes de Mata	Área (ha)	Troncos (t/ha)	Galhos (t/ha)	Folhas (t/ha)	Liteira (t/ha)
1 (a)	65.000	327	213	15	12
(b)	4.975	-			
2 (a)	57.500	220	125	16,80	18,90
(b)	6.575	-	-		
3 (a)	12.750	360	233,90	16	12
(b)	1.050	-	-		
4 (a)	60.750	300	194,90	12	16,9
(b)	1.475	-	-		
5 (a)	2.375	149	85,90	19,78	24
(b)		-			
6 (a)	11.312	177,3	111	14,40	14,90
(b)	250	-			
7 (a)	41.537	em estudo	em estudo	em estudo	em estudo
(b)	181				
8 (a)	3.125	147,8	176	8,96	7,04

Fonte: Cardenas, 1986

Os estudos realizados com base em fotografias do satélite Landsat em 1979 junto com os trabalhos de campo concluíram que o total de biomassa é:

- Troncos 266 t/ha – 57,2%; Galhos 169 t/ha – 36,3%; Folhas 15 t/ha – 3,2%; Litter 15 t/ha – 3,3 %; Total 465 t/ha – 100%

Dos 113 milhões de toneladas de biomassa inventariadas para os 2.430 km², elimina-se a área correspondente a calha do antigo rio Tocantins (600 km²), ilhas (400 km²) e áreas desmatadas pela Eletronorte (400 km²) o que faz com que a área inundada com vegetação seja de 1.180 km², o que nos fornece um total de 55 milhões de toneladas de biomassa afogada pelo enchimento do lago de Tucuruí.

V.9 – O Reservatório de Itaipú

O reservatório hidrelétrico de Itaipú situa-se na bacia hidrográfica do rio Paraná, com uma área total de drenagem estimada em cerca de 820.000 km². (Figura 17) O reservatório tem uma área aproximada no nível máximo normal de 1.350 km², sendo 780 km² no lado brasileiro e no lado paraguaio 570 km². (Figura 18)



Figura 17 – Localização do Reservatório Hidrelétrico de Itaipú

O volume total do lago de Itaipú é da ordem de 29 bilhões de m³ de água, sendo o volume útil da ordem de 19 bilhões de m³. (Itaipú, 1980)

A cota do reservatório no nível máximo de cheia chega a 223 m e no nível máximo normal atinge 220 e o nível mínimo atinge, em casos excepcionais, 197m. São cerca de 170 km de comprimento, partindo-se do eixo da barragem até a área inicial do reservatório (montante). A precipitação média anual no reservatório gira em torno de 1.650 mm e a temperatura situa-se na média de 21° C (máxima de 40° C e mínima de – 4° C). O clima é do tipo temperado com verão em dezembro a maio e inverno de julho a novembro. Praticamente em toda a bacia de drenagem da região do reservatório a geologia permanece uniforme, consistindo basicamente por derrames basálticos.

A potência instalada da usina é de 12,6 GW com 18 unidades geradoras de 700 MW cada. No ano de 1997 a energia gerada foi de 89,2 GWh/ano.

O início da obras deu-se em 1973, a abertura do canal de desvio do rio em 1975 e o reservatório iniciou se enchimento em 1982, quando as comportas da usina foram fechadas. Do início do fechamento das comportas até o completo enchimento do reservatório foram gastos 14 dias, visto que a vazão média anual é alta, da ordem de 9.700 m³/s. (Itaipú, 1996)

A profundidade média do reservatório é de 22 metros, a máxima podendo alcançar 170 metros na área próxima à barragem. O tempo médio de residência da água é de 30 dias.

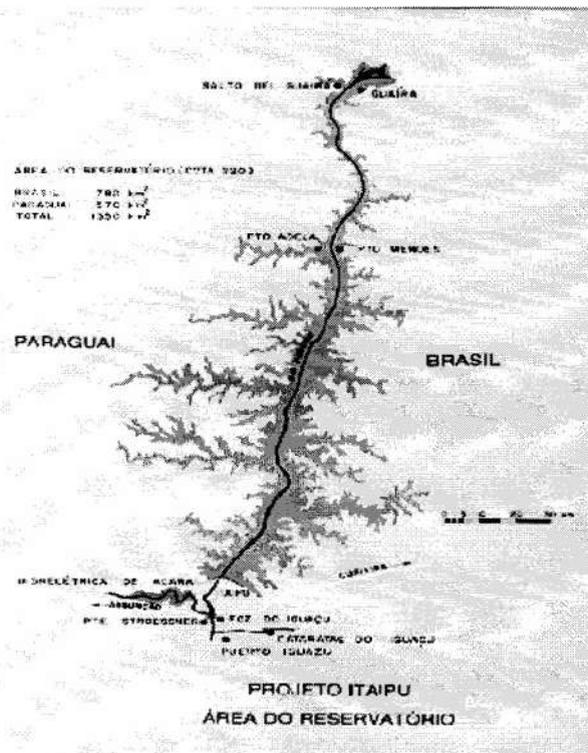


Figura 18 – Mapa do Reservatório da Hidrelétrica de Itaipú

Na margem direita (lado brasileiro) 22% da área é de florestas, 24,8% capoeira, 50,3% agricultura e 2 % área urbana. Já no lado esquerdo (lado paraguaio) as florestas ocupam 81,5% , a agricultura 13,1% e campos naturais 5%.

O reservatório apresenta uma compartimentação em três categorias: (IAP, 1996)

- Região lótica: que apresenta características parecidas com o regime de um rio, que fica localizado na região mais a montante do reservatório. Nesta região ocorre uma maior homogeneização da coluna d'água devido à turbulência;
- Região de transição: ocorrem processo mistos de regime fluvial e lacustre;
- Região lântica: região normalmente mais larga e mais profunda do reservatório, onde os processos dominantes são do tipo lacustre.

Os braços dos reservatórios também poderiam ser identificados como regiões a parte do reservatório, pois apresentam características peculiares, que a distinguem dos demais sistemas.

O reservatório de Itaipú apresenta estratificação térmica e química de suas águas na região lântica. O corpo central do reservatório mostra acentuada estratificação térmica no verão e no inverno quase não são notadas variações na coluna d'água. Já os braços do lago apresentam comportamento diferenciado independente das estações do ano. (IAP, 1996)

V.10 - Reservatório de Serra da Mesa

As obras em Serra da Mesa começaram em 1984 e a barragem foi fechada em setembro de 1996. A cota do fundo da represa, na vizinhança da barragem, é 330 m (acima do nível do mar) e o nível da água, no primeiro dia da campanha, tinha atingido a cota 440 m. O reservatório da UHE de Serra da Mesa atinge, no nível altimétrico máximo, uma área de 1.784 km². A Usina tem capacidade nominal de 1.293 MW.

O reservatório situa-se na bacia hidrográfica do Alto Tocantins com uma área de drenagem de aproximadamente 51.000 km², entre os municípios de Minaçu e Colina do Sul, no estado de Goiás. (Figura 19)

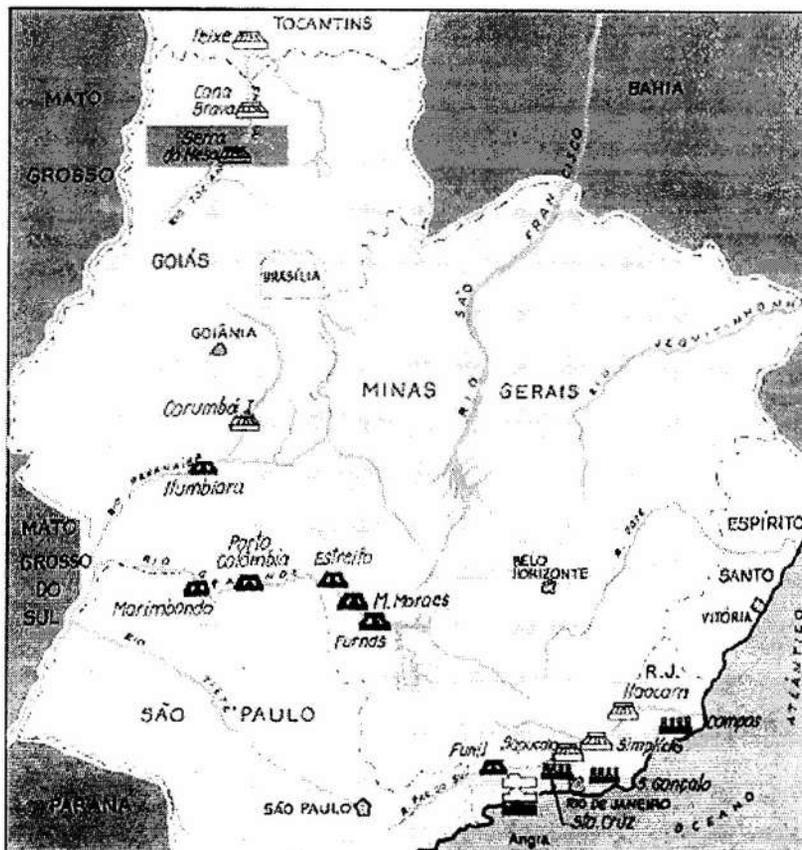


Figura 19 - Localização do Reservatório da UHE de Serra da Mesa

Fonte: Furnas



Foto 8 - Vista Aérea da Barragem da UHE de Serra da Mesa

Foto M.A. Santos

O reservatório foi construído em uma área de cerrado típico, apresentando também dentro de seus limites áreas desmatadas onde instalou-se a pecuária. São cerca de 7,4% de mata de galeria, 0,8% de mata estacional, 2,0% de ecótono, 11,9% de cerrado aberto, 65,7% de campo cerrado, 9,0% de agropecuária e 3,3% de outros usos.

A densidade média total de biomassa da área do reservatório é de 33,20 t/ha, sendo que a massa total é de 5,9 milhões de toneladas. (Tabela 9)

Tabela 9 - Estimativa de Fitomassa da Área da UHE de Serra da Mesa

Compartimento	Mata de Galeria	Mata Estacional	Ecótono M/C	Cerrado Aberto	Campo Cerrado	Agropecuária	Outros (*)
Área (ha)	13.119	1.483	3.536	21.178	117.181	16.030	5.873
Litter-Leve (kg)	30,7	44,3	89,8	7,4	16,4	79,2	-
Litter-Pesado (kg)	-	40,5	30	-	12,3	28,9	-
Gramma (kg)	-	-	-	-	12,3	28,9	-
Estrato Arbóreo (kg)	14,4	11,5	16,9	4,4	7,2	1,2	-
Cipós-Folhas (kg)	0,9	-	3,9	-	-	-	-
Cipós-Lenho (kg)	12,2	-	-	-	-	15,2	-
Bambú (kg)	10,6	-	-	-	-	7,1	-
Arvoretas-Folhas (kg)	3	1,9	16,8	15,7	3,9	16,3	-
Arvoretas-Lenho (kg)	35,9	5,5	41,7	91	18,2	50,1	-
Árvores-Folhas (kg)	34,4	39,5	19,6	2,4	5	24,1	-
Árvores-Galhos (kg)	779,7	662,2	166,2	-	-	71,1	-
Árvores-Fuste (kg)	981,7	301	241,8	41	36,8	137	-
Total (kg/100m²)	1903,5	1.106,4	626,7	161,90	112,10	459,1	1106
Total (t/ha)	190,35	110,64	62,67	16,19	11,21	45,91	110,6
Peso Total	2.497.202	164.079	221.601	342.872	1.313.599	735.937	649.554

Fonte: IESA,1990

(*) incluem-se o Cerrado Denso, áreas de queimada e áreas rochosas, para os quais se considerou uma fitomassa equivalente à da mata estacional

A tabela 10 a seguir sintetiza os principais dados referentes às hidrelétricas pesquisadas.

Tabela 10 – Sinopse da Caracterização dos Reservatórios Hidrelétricos Estudados

USINA	Data da Amostragem	Ano de Fechamento	Término do Enchimento	Idade do Lago	Latitude/Longitude	Tipo de Vegetação	Potência	Área do Reservatório	Densidade de Potência
Miranda	04/1998	03/1997	05/1997	1 ano	18°55'S/ 40°02'W	Cerrado	390 MW	50,6 km ²	7,7 W/m ²
Três Marias	04/1998	01/1961	-	37 anos	18°10'S/ 45°16'W	Cerrado	387,6 MW	1.040 km ²	0,37 W/m ²
Barra Bonita	04/1998	06/1962	05/1963	36 anos	20°31's/ 48°33'W	Mata Atlântica	140,80 MW	312 km ²	0,45 W/m ²
Segredo	05/1998	06/1992	09/1992	6 anos	26°S/ 52°W	Subtropical	1.260 MW	82 km ²	15,3 W/m ²
Xingó	05/1998	06/1994	06/1994	4 anos	9°35'S/ 37°50'W	Caatinga	3.000 MW	60 km ²	50 W/m ²
Samuel	06/1998	11/1988	07/1989	9,6 anos	8°45'S/ 63°28'W	Amazônica	216 MW	559 km ²	0,38 W/m ²
Tucuruí	06/1998	09/1984	03/1985	14 anos	3°45'S/ 49°40'W	Amazônica	4.245 MW	2.430 km ²	1,75 W/m ²
Itaipú	1999	1982	1982	18 anos	-	Sub-Tropical	12.600 MW	1.350 km ²	9,3 W/m ²
Serra da Mesa	1997	09/1996	12/1996	4 anos	-	Cerrado	1.293 MW	1.754 km ²	0,73 W/m ²

VI - O Estado da Arte da Questão do Efeito Estufa versus Plantas Hidrelétricas

VI.1 – Geração de Energia Elétrica e Efeito Estufa

Na geração de energia elétrica, as emissões de gases de efeito estufa podem ser divididas em dois grupos:¹

- 1) O CO₂ no consumo de combustíveis fósseis, principalmente na operação de usinas termelétricas (óleo combustível, carvão mineral, gás natural).
- 2) Na alteração do uso do solo, no caso do enchimento de reservatórios das usinas hidrelétricas em regiões florestadas, onde são produzidos gases CO₂ e CH₄ por decomposição aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica.

O primeiro caso não constitui grande problema, pois a documentação sobre estimativas de emissão de gases derivados do uso de combustíveis fósseis é considerável e o tema foi objeto de constantes debates a nível nacional e internacional (CNUMAD-92, IPCC-1991, RIO CIÊNCIA-92, OECD EXPERT MEETING - 1991), somados às características dos aproveitamentos termelétricos, que podem fornecer dados sobre o consumo de combustível utilizado na geração de energia.

Dados sobre emissões de poluentes atmosféricos (SO_x, NO_x, CO₂, material particulado) estão disponíveis na literatura internacional e podem ser utilizados com confiança e confrontados com as estimativas do caso brasileiro: Hamilton (1984); Pearse (1987); United Nations (1986a e 1986b); United Nations (1986b); Voss (1987); Izrael, (1987).

No segundo caso, estritamente ligado à construção e operação de hidrelétricas em regiões florestadas, o acervo é bem reduzido, mesmo internacionalmente, visto que o assunto é relativamente novo.

O relatório OECD/OCDE "Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks" (OECD, 1991), dedicou um capítulo especial para as alterações do uso do solo e florestas como fontes de emissão de gases, onde considera a inundação de áreas como uma das atividades potenciais de emissão de CH₄. O relatório entretanto, não apresenta conclusões sobre o método a ser empregado nas estimativas, mas considera necessário novos estudos, principalmente porque essa fonte de emissão varia enormemente com o tipo de ecossistema que é alagado.

A construção de hidrelétricas é considerada como uma grande fonte de CH₄ neste tipo de atividade. A metodologia proposta não apresenta medições em barragens devido à hidrelétricas, mas

¹ Existem emissões de gases de efeito estufa associadas a vazamentos (escape) de gás natural na produção e transporte, porém representam um percentual pequeno das emissões da combustão. Também há emissões relacionadas à construção de hidrelétricas e termelétricas, mas por serem consideradas bem reduzidas, quando comparadas a operação das mesmas, não consideramos este tipo de emissão nesta pesquisa.

estabelece ordens de grandeza de emissões de CH₄ em áreas naturalmente alagadas, baseado no trabalho de Aselmam e Crutzen (1989), conforme pode ser visualizada na Tabela 10.

A bibliografia existente sobre o assunto não é conclusiva e utiliza nas estimativas, médias globais de emissão de CH₄ no mundo, a partir de experimentos realizados em ecossistemas naturais, neste caso lagos (43 mg CH₄ m⁻²dia⁻¹) (Aselmann and Crutzen ,1989).

Tabela 10 - Emissão Média de Metano de Áreas Naturais

Categoria	Taxa da Emissão	Período de Produção
	mg CH₄-C/m²/dia	(dias)
Áreas Úmidas c/ vegetação em decomposição	11 (11-38)	178
Brejos	60 (21-162)	169
Pântano	63 (43-84)	274
Charco	189 (103-299)	249
Várzea	75(37-150)	122
Lagos	32(13-67)	365

Fonte: Aselmann and Crutzen, 1989

Especificamente, no caso brasileiro, há o conhecimento de dois trabalhos, entretanto considerados preliminares pelos próprios autores, Bruce (1990) e Fearnside(1992).

O trabalho de Bruce procura estabelecer uma comparação entre as emissões de gases derivados das duas tecnologias: hidrelétrica de 112 MW de potência em média (Balbina) e uma térmica de igual capacidade de geração de energia.

São tomados como parâmetros básicos de comparação, a vida útil do projeto, a capacidade de geração de energia, a densidade de biomassa florestal afogada no caso da hidrelétrica e tipo de combustível empregado no caso da termelétrica.

A estimativa do presente trabalho, utiliza dois cenários de emissões possíveis, no caso da hidrelétrica:

- 1) todo carbono emitido sai sob a forma de CO₂;
- 2) 5% do carbono emitido sai sob forma de CH₄;

O método empregado neste caso foi multiplicar a área inundada do reservatório pela densidade de carbono existente na floresta alagada (155 tC/ha). Posteriormente é obtido um índice

parametrizado pela potência da usina (tC/MW), que é comparado com o índice de emissão de uma usina térmica semelhante. O resultado pode ser criticado pelo fato de que não foram considerados outros parâmetros de sensibilidade, que podem influir nos cálculos, tal qual a parcela da biomassa que pode ser imediatamente decomposta e gaseificada após o enchimento do reservatório ou a eficiência de cada tecnologia, trazendo como consequência uma ponderação maior nas emissões devidas à hidreletricidade.

Já o trabalho de Fearnside é um apanhado das possibilidades de fontes de emissão e sumidouros de carbono nas florestas, publicado em um workshop sobre florestas tropicais e mudanças globais, sob a responsabilidade do Lawrence Berkeley Laboratory(EUA) e USP, com financiamento da EPA-Environmental Protection Agency(EUA) e do IPCC.

A participação do desmatamento e das queimadas na região amazônica e a sua contribuição para o aquecimento global são bem exploradas. A questão da alteração do uso do solo e seus impactos ecológicos também são abordados (expansão da fronteira agropecuária, produção de carvão vegetal e utilização de lenha e barragens artificiais). Segundo Fearnside, a construção das barragens em áreas de florestas tropicais apresentam sérios impactos ecológicos, entre os quais a contribuição de gases causadores do efeito estufa.

Fearnside acredita que na Amazônia as barragens são na maioria dos casos piores do que as térmicas que utilizam combustíveis fósseis, sob o ponto de vista das emissões dos gases. A emissão de CH₄ derivadas de barragens podem atingir juntas (caso todas as usinas planejadas para a Amazônia fossem construídas) a mesma ordem de magnitude das emissões das várzeas naturais amazônicas (considerada como uma das maiores fontes mundiais de metano).

Entretanto, o trabalho não utiliza dados da região, confiando na média das emissões em lagos naturais do mundo (43 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹), acreditando inclusive que o dado é conservador para os lagos artificiais da região amazônica, que apresentam condições favoráveis à decomposição anaeróbica da matéria orgânica do fundo. A crítica que se pode fazer a abordagem de Fearnside é justamente a falta de medições "in loco" e a extrapolação de dados, que podem superestimar as emissões devidas às hidrelétricas, tendo em conta que os reservatórios não emitem gases uniformemente e a emissão comporta-se de forma aleatória no tempo e no espaço.

De acordo com a metodologia OECD/OCDE para o IPCC, é recomendado que verificações empíricas sejam realizadas a fim de estabelecer critérios e metodologias de cálculo de emissões próximas a realidade dos ecossistemas afetados.

Nas hidrelétricas da região amazônica, a possibilidade de situações diferenciadas, que por sua vez podem afetar os cálculos são numerosas (desmatamento prévio antes do enchimento, composição e densidade da biomassa afogada, variações sazonais de cota dos reservatórios, etc...) implicando necessariamente em estudos de caso, antes da criação de indicadores gerais, ou críticas ao enchimento dos reservatórios.

Estudos sobre a presença de carbono na água de rios da Amazônia têm sido publicados por diversos autores: Sioli (1967) ; Gibbs (1972); Furch (1984); Shalard (1980). Os rios transportam materiais sólidos dissolvidos na água, entre eles carbono orgânico.

Segundo Junk(1985), há íntima interação entre as terras inundadas e os rios, sendo difícil obter fluxos diretos do carbono de um para outro. Este problema se relaciona com a estimativa das taxas de decomposição da biomassa, importante para nosso estudo.

É possível diferenciar entre vegetais lenhosos e não lenhosos, mas é difícil fazer essa diferenciação entre material lenhoso da floresta nas áreas inundadas e nas não inundadas. Tipos diferentes de vegetais se decompõem de forma muito diferenciadas sob a água. As taxas de decomposição variam nas fases terrestre e aquática. As plantas com baixo conteúdo de celulose e lignina, como herbáceas, se decompõem muito facilmente.

Segundo Richey (1982), 50% do peso das plantas herbáceas são perdidos em duas semanas durante a fase aquática, sendo de 70 a 90 % do peso perdidos após 4 meses de exposição à água. Estes dados variam muito para outros casos, podendo-se tomar em média 40% do peso sendo perdido em quatro meses, entre as plantas que se decompõem (Richey, 1982).

A situação é outra no caso da madeira de troncos e galhos de árvores, tendo sido verificado que árvores de duas áreas inundadas têm decomposição reduzida na falta de oxigênio, podendo resistir por longos períodos.

Mais especificamente, Devol et al (1988) mediram o fluxo de CH_4 em áreas inundadas pelo rio Amazonas no início do período de cheias. A emissão média encontrada foi de $75 \text{ mg C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na floresta inundada, de $90 \text{ mg C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em lagos e de $590 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ onde havia plantas flutuantes. Convertendo-os em valores anuais temos respectivamente $27 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, $33 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e $215 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

Outro ponto importante para comparação é a presença do carbono na água, sob forma de CO_2 e CH_4 . Tem sido encontrada alta presença de CO_2 nas águas das terras inundadas, maior do que a concentração de equilíbrio com a atmosfera (Junk,1985; Richey, 1982).

Junk (1985) concluiu independentemente das represas, que as terras inundadas na Amazônia são uma importante fonte de carbono, o qual é transportado pelos rios normalmente. Furch (1984) encontrou valores médios do carbono total nas águas da Amazônia entre 8,7 e 16,2 mg C/l.

VI.2 - O Histórico do Desenvolvimento de Estudos Experimentais no Brasil

Medições de concentração de metano(CH₄) e de dióxido de carbono(CO₂) na água foram realizados pelo CRHEA/USP em 1989 nas represas de Samuel e de Tucuruí, revelando importante presença de ambos os gases.

A COPPE/UFRJ se propôs a realizar medidas de fluxo destes gases juntamente com o CRHEA/USP para a Eletrobrás. Este projeto foi proposto e aceito para 3 hidrelétricas construídas na Amazônia, a saber : Tucuruí, Samuel e Balbina.

Medidas de fluxos de gases foram realizadas em 1993 nas hidrelétricas de Balbina, Tucuruí e Samuel, encontrando forte presença de CH₄ emitido em bolhas, maior nos reservatórios mais novos. Os dados das emissões por sua vez realimentaram os cálculos, tendo a COPPE proposto à Eletrobrás a continuidade de estudos e novas medições pelo CRHEA.

Coube também desenvolver um método para comparar emissões de futuras hidrelétricas com as de termelétricas que podem ser construídas em lugar de hidrelétricas. O método baseou-se em dados sobre densidade de biomassa e em características técnicas das usinas. Supôs-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 suas emissões à que o lago terá continuamente por toda a sua vida. (Rosa et al, 1996)

Para comparar os efeitos das emissões das hidrelétricas, cujas emissões variam no tempo, com as de termelétricas, que emitirão gases de combustão a taxa quase constante por toda sua vida útil, colocou-se o problema de comparar emissões feitas com intensidade variável em tempos diferentes. O potencial de aquecimento global disponível nos relatórios do IPCC é definido para comparar emissões simultâneas de gases diferentes.

A COPPE desenvolveu então um método para generalização do potencial de aquecimento global. O trabalho foi submetido à revisão internacional e debatido dando origem a artigos publicados na *Ambio* (Rosa e Schaeffer, 1994), *Energy Policy* (Rosa e Schaeffer,1995), e *Environmental Conservation* (Rosa, Schaeffer e Santos, 1996). Os resultados serviram para estimativas que orientassem a escolha de usinas a serem estudadas. O pior caso foi o de Balbina

cujas emissões calculadas eram piores do que as de uma termelétrica, mesmo a carvão, gerando a mesma energia. Tucuruí emitia bem menos do que uma termelétrica equivalente, mesmo a gás natural com ciclo combinado, segundo os cálculos. (Rosa e Schaeffer, 1994 ; Rosa e Schaeffer, 1995; Rosa et al 1995; Rosa et al, 1996; Rosa et al, 1997)

Os primeiros resultados do trabalho da COPPE/UFRJ foram discutidos na conferência da Agência Internacional de Energia em Londres em 1995, da qual participaram a Hydro Québec e a COPPE. Os resultados de medidas em barragens no Canadá pela UQAM apresentavam dominância de CO₂ em difusão e não pareciam variar com o tempo. Posteriormente, a COPPE teve oportunidade de discutir com o grupo da Universidade de Québec no Seminário da Agência Internacional de Energia Atômica, na sede da Hydro-Quebec em Montreal, em março de 1996.

Houve discordância da COPPE com os resultados calculados em um trabalho feito no INPA com base em estimativa das emissões de Balbina. Para discutir os resultados experimentais a COPPE propôs um seminário, realizado na Eletrobrás, no Rio, no segundo semestre de 1996, convidando os colegas da UQAM para debaterem com o grupo do CRHEA, com a participação de técnicos e pesquisadores de empresas elétricas e de universidades e institutos, especialmente do INPA.

Os pesquisadores da UQAM mostraram sua técnica de coleta com câmaras de difusão , enquanto os da COPPE e do CRHEA mostraram a de coleta de bolhas usando funis. Não houve acordo sobre a adequação das técnicas, cada grupo defendendo a sua como a melhor. Resolveu-se então fazer uma campanha na Amazônia com os dois grupos juntos e fazer em seguida um seminário para orientar os procedimentos futuros.

Por proposta da UQAM foi escolhida Curuá-Una, a 70 km do Campus de Santarém da UFPA, com a qual a UQAM mantém uma cooperação para pesquisar poluição de mercúrio nos rios , tendo sido simples a adaptação para gases do efeito estufa. Os resultados das análises das amostras colhidas em Curuá Una foram discutidas no Workshop Internacional em Santarém. Foram feitas comparações com resultados de medidas em hidrelétricas canadenses pela UQAM em convênio com a Hydro-Quebec e discutidos os resultados do modelo teórico da COPPE. Além das técnicas de medições com câmaras de difusão e de funis para bolhas, foram consideradas outras alternativas - torres de medição de fluxo de gases (INPE-INPA), informação de satélites associadas a medições nos lagos (INPE-CENA), uso de raios laser (UFRJ-UNICAMP).

Destes estudos iniciais, concluiu-se que seria prioritário iniciar uma campanha em várias represas em diferentes regiões do país para medições usando funis e câmaras para detecção de fluxos de CH_4 e de CO_2 através de bolhas (predomina o CH_4) e de difusão (predomina o CO_2).

Concomitantemente com as medições, deveria-se chegar a uma sistemática para definir locais e tempo para realizá-las nos diferentes reservatórios, baseados na experiência metodológica adquirida com as pesquisas anteriores da COPPE.

VI.3 – O Significado da Medição de Gases de Efeito Estufa em Hidrelétricas

Enquanto na combustão de carvão, óleo combustível ou gás natural em plantas térmicas se produz principalmente gás carbônico (CO_2) através de combustão química, nos reservatórios de hidrelétricas a principal fonte do gás é a decomposição bacteriana (aeróbico e anaeróbico) de material orgânico que produz CO_2 e CH_4 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 CH_4 relativo ao do CO_2 .

Cada kg adicional de CH_4 lançado na atmosfera bloqueia mais calor transmitido da Terra para a atmosfera que um kg de CO_2 (a partir da interação com a radiação eletromagnética de frequência infra-vermelha). Isto é devido ao fato de que a absorção de radiação infra-vermelha pelo CH_4 é mais alta que pelo CO_2 , além do que a concentração do CO_2 é muito mais alta do que o CH_4 na atmosfera, fazendo com que o efeito do incremento de 1 kg de CO_2 seja menos importante que de 1 kg de CH_4 .

Porém, o tempo de residência médio no qual a quantia adicional de CH_4 reside na atmosfera é aproximadamente 1/10 do CO_2 . Este fenômeno é chamado de forçamento radiativo e é definido para se levar em conta esses efeitos diferentes no aumento de temperatura global. É necessário somar ao longo do tempo o produto do coeficiente de absorção infra-vermelha do gás por sua concentração atmosférica instantânea, que decai ao longo do tempo. Isso significa compor numa integração um limite de 50, 100 ou 500 anos. A relação entre a integração para o gás X e para o CO_2 é o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential) de X.

O relatório do IPCC de 1990 levou em conta este efeito indireto do gás devido a vários processos na atmosfera, como as reações químicas que produzem outros gases que interferem com o aquecimento global e aumentam o GWP de CH_4 . Só no relatório de IPCC de 1992 o efeito direto foi considerado, reduzindo o GWP do CH_4 por um fator aproximadamente de dois. Nos relatórios

publicados pelo IPCC em 1994 e 1995, os efeitos indiretos foram incluídos novamente e o GWP regressou aproximadamente para o valor anterior. (IPCC, 1990; IPCC, 1992; IPCC, 1994; IPCC, 1995)

O GWP em todas as aproximações acima serve para comparar emissões simultâneas de gases diferentes. Um método para generalizar o GWP foi desenvolvido pela COPPE / UFRJ para comparar emissões de plantas hidroelétricas com plantas termoelétricas. Foi mostrado que o GWP tradicional indexado para CH₄ é impróprio para lidar com emissões de reservatórios hidroelétricos, quando comparando com emissões de gases de efeito estufa de plantas a combustível fóssil. A definição original de GWP para CH₄ está baseado na relação do forçamento radiativo instantâneo de um pulso de CH₄ e de uma emissão igual e simultânea de CO₂ integrada arbitrariamente até um determinado horizonte de tempo. (Rosa et al, 1993)

Porém, o padrão de emissões de gás de um reservatório hidrelétrico é totalmente diferente do padrão de emissões de uma planta termelétrica. Enquanto são lançados de uma planta termelétrica CO₂ de forma uniforme da combustão de combustíveis fósseis, em um período inteiro de operação da planta, em um reservatório hidrelétrico parte importante da produção de ambos gases pode se concentrar em um período de tempo menor que o vida útil do reservatório. Também haverá emissões de CH₄ e CO₂ a longo prazo devido à decomposição da biomassa produzida no reservatório, que permanece depois de uma intensa degradação inicial, como também do carbono orgânico dissolvido na água produzido com o passar do tempo dentro do reservatório.

Então, para comparar os efeitos do aquecimento cumulativo do CH₄ e CO₂ entre si, devem ser considerados três fatores:

- a) o forçamento radiativo instantâneo devido a um aumento de unidade na concentração dos gases;
- b) as funções de tempo de decaimento dos gases na atmosfera;
- c) os padrões de emissão dos gases. No caso de reservatórios hidrelétricos.

A magnitude e o padrão de emissões variam e dependem da densidade de biomassa, tipo da área inundada, tipo de terra, duração da inundação (se contínuo ou intermitente) e profundidade.

VI.4 – Resultados de Medições Obtidas em Reservatórios Hidrelétricos e em Lagos Naturais

Medidas de fluxo de CO₂ e de CH₄ foram realizadas em 25 lagos e 4 rios na região norte do Alaska, encontrando importante presença de ambos os gases. O fluxo de gás para a atmosfera proveniente dos corpos d'água variou de -6,5 (absorção) até 59,8 mmol de CO₂ m⁻² d⁻¹ e de 0,08 a 1,02 mmol de CH₄ m⁻² d⁻¹. A emissão média de carbono fixou-se em torno de 24 g C m⁻² ano⁻¹. (Kling et al, 1992)

Estudos de emissão de metano nas áreas alagadas tropicais tiveram um grande avanço na década de 80, principalmente na Amazonia e em áreas de florestas equatoriais africanas. (Bartlett et al, 1993)

As medições foram realizadas em florestas alagadas, corpos d'água sem vegetação e corpos d'água com cobertura vegetal. Os fluxos medidos variaram de 7,5 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹ a 967 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹ e nas áreas alagadas com cobertura vegetal fluxo médio de 200 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹.

Fluxos difusivos de CO₂ e de CH₄ na interface água-ar foram calculados a partir da concentração dos gases na água em planícies de inundação vegetadas no Pantanal, baseados em dados coletados ao longo do período de 1 ano. (Hamilton et al, 1995)

Os resultados revelaram que é cerca do dobro o fluxo de CO₂ que sai da água em relação ao que entra de O₂. Os fluxos médios medidos foram:

- O₂: 0,18 nmol cm⁻² s⁻¹;
- CO₂: 0,34 nmol cm⁻² s⁻¹;
- CH₄: 0,017 nmol cm⁻² s⁻¹;

Segundo trabalhos desenvolvidos por Robert Striegl do U.S. Geological Survey as emissões anuais de CH₄ e de CO₂ em lagos da região central do Minnesota dependem (são proporcionais) à contribuição hidrológica de carbono pelas águas da bacia de drenagem contribuinte. (Striegl et al, 1998) As emissões médias anuais foram estimados em:

- Lago William: 1,6 mol CH₄ m⁻² ano⁻¹;
- Lago Shingobee: 1,9 mol CH₄ m⁻² ano⁻¹;
- Lago Shingobee: 8,0 mol CO₂ m⁻² ano⁻¹;

Medidas de concentração de metano realizadas em testemunhos de sedimentos em lagos de tundra e taiga no Alaska indicam que a concentração de metano aumenta na medida em que as amostras são retiradas de regiões mais profundas do sedimento. (Phelps et alli , 1998)

¹¹ Corresponde a 65,75 mg C m⁻² d⁻¹

Medições de fluxo de metano também foram realizadas empregando-se câmaras de difusão indicando forte desprendimento do gás logo após o degelo do lago. Os valores medidos com as câmaras variam de 2,07 g CH₄ m⁻² ano⁻¹ ⁱⁱⁱ em 1995 a 1,49 g CH₄ m⁻² ano⁻¹ ^{iv} em 1996, sendo esta medida realizada cerca de dez dias após o degelo do lago. Estimativas de emissão também foram realizadas empregando-se o modelo de difusão na camada limite e por medidas de concentração de metano na água, chegando a valores de 1,79 g CH₄ m⁻² ano⁻¹ ^v dez dias após o degelo e de 2,28 g CH₄ m⁻² ano⁻¹ ^{vi} na estação do verão.

Experimentos para a investigação de taxas de emissão de CH₄ em riachos do estado do Tennessee, Estados Unidos, foram realizados revelando supersaturação deste gás na camada limite da água. Os valores encontrados variam de 17,6 a 41,4 vezes maior do que a concentração de equilíbrio na atmosfera adjacente. (Jones et al, 1998) As taxas de emissão situaram-se numa faixa de 0,4 a 13,2 mg CH₄ m⁻² d⁻¹. Segundo este trabalho diferenças de resultados de concentração versus emissão podem ser atribuídos a variações na descarga subsuperficial e na concentração da água subterrânea. Os resultados sugerem que a principal fonte de metano é o solo orgânico inundado.

Emissões de CH₄ e de CO₂ foram determinadas em 11 pontos de amostragem para dois reservatórios hidrelétricos no Canadá, inundados em 1978 e em 1983. A campanha de coleta de dados perdurou dois anos seguidos e os fluxos de CH₄ para atmosfera situaram-se entre 5 a 10 mg CH₄ m⁻² d⁻¹, enquanto que para o CO₂ os valores variaram de 500 a 1.000 mg CO₂ m⁻² d⁻¹. (Duchemin et alii, 1995)

Foram determinados dois tipos de fluxo:

(a) regulares: 88% do total no caso do CH₄ e 87% no caso do CO₂;

(b) acima da média: que refletem condições de forte vento e colunas de água menores que 1 m;

Perfis de concentração de CO₂ e de CH₄ de gás dissolvido na coluna d'água revelaram que a oxidação e a advecção horizontal são os fatores de controle chave para a emissão de gases para a atmosfera.

Medições de gases de efeito estufa também foram realizadas no reservatório da Hidrelétrica de Petit Saut, na Guiana Francesa, fechado em 1994 e com cerca de 300 km² de área. (Galy Lacaux et alii, 1997) Os resultados encontrados são da ordem de:

ⁱⁱⁱ Corresponde a 5,6 mg CH₄ m⁻² d⁻¹

^{iv} Corresponde a 4,0 mg CH₄ m⁻² d⁻¹

^v Corresponde a 4,9 mg CH₄ m⁻² d⁻¹

^{vi} Corresponde a 6,2 mg CH₄ m⁻² d⁻¹

- Fluxos difusivos de metano: medições realizadas entre março de 1994 a fevereiro de 1995 (de 120 a 3.240 mg CH₄ m⁻² d⁻¹);
- Fluxos de metano por bolhas: medição realizada em março de 1994 (2-3 metros de profundidade 1.404 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ e 6 metros de profundidade 936 mg CH₄ m⁻² d⁻¹) e em Setembro de 1994 (5 a 6 metros de profundidade 600 mg m⁻² d⁻¹ e 7 a 9 metros 240 mg CH₄ m⁻² d⁻¹);
- Fluxos difusivos de dióxido de carbono: média das emissões em três diferentes locais do reservatório em mg CO₂ m⁻² d⁻¹ (setembro de 1994 - 1.296; dezembro de 1994 – 4.800; maio de 1995- 5.328; setembro de 1995 – 10.248)

Um trabalho experimental desenvolvido para medir fluxos contínuos de emissão de gases de efeito estufa de lagos foi desenvolvido por uma equipe de pesquisadores dos Estados Unidos. Segundo este estudo, três parâmetros são fundamentais para o cálculo de emissões baseado no modelo de cálculo de fluxo na camada limite água-ar, a saber: (Sellers et al , 1995)

- Concentração de CO₂ na água (dissolvido);
- Concentração de CO₂ no ar, imediatamente superior a camada d'água;
- Velocidade do vento.

A frequência das medidas é fundamental para a acurácia dos resultados pois os fatores variam conforme mudam as condições ambientais. Para se ter medidas de alta frequência, é preciso de um medidor contínuo de concentração de CO₂ na água, no ar e de velocidade do vento.

Baseados nestas medidas, chegou-se a conclusão que em lagos eutróficos e rasos, alterações diárias podem ocorrer devido as altas taxas de respiração e fotossíntese. Em lagos oligotróficos a concentração de CO₂ na água e no ar tendem ao equilíbrio.

Uma pesquisa realizada no ano de 1992 e em 1993-1994 (inverno) e 1994-1995 (inverno) no Lago Nojiri no Japão (4,4 km²) revelou que o fluxo difusivo de metano não é o sumidouro significativo de CH₄ naquele lago. (Utsumi et al, 1998)

A taxa média de emissão foi de 4,5 kg d⁻¹ para todo o lago, o que corresponde a uma taxa de 1,02 mg m⁻² dia⁻¹. O trabalho chegou a conclusão que o principal sumidouro de CH₄ é a oxidação na coluna d'água, removendo cerca de 94% do CH₄ no período analisado. A taxa de oxidação situou-se em 67,8 kg d⁻¹ para o lago todo, correspondendo a 15,4 mg m⁻² dia⁻¹.

Outra pesquisa realizada pelo U.S.Geological Survey dos Estados Unidos em lagos do estado do Minnessota descobriu que apenas uma pequena proporção do CH₄ dissolvido na água é originário de

fontes externas, sendo que uma parcela do metano pode estar dissolvido em águas subterrâneas que alimentam o lago. (Striegl et al, 1998)

Segundo este mesmo trabalho, a maioria do CH₄ dissolvido na água em lagos temperados do norte é produzida por decomposição anaeróbica no sedimento do lago. O CH₄ produzido na medida que migra para regiões superiores da coluna d'água pode ser transformado em biomassa ou em CO₂ pelas bactérias metanotróficas ou então ser emitido para a atmosfera.

Os lagos tendem a emitir CH₄ continuamente para a atmosfera durante o período de degelo, enquanto que no caso do CO₂ o fluxo pode ser positivo ou negativo, dependendo das condições de fotossíntese ou respiração biológica do lago.

Muitos lagos são emissores líquidos de CO₂ para a atmosfera, em bases anuais. Porém, as relações entre inputs de carbono para os lagos, processos dentro do lago e emissões gasosas para a atmosfera não são bem conhecidos. Foram realizadas medidas de fluxos difusivos, empregando-se câmaras de difusão, entre o mês de maio e de outubro de 1992. Foram empregadas 12 câmaras para cada lago (no total de dois lagos), sendo as câmaras de 0,25 m de diâmetro e 0,30 m de altura, com coletas empregando-se seringas a cada 30-45 minutos. A concentração do gás foi determinada por cromatografia gasosa.

Neste caso, foi detectado que 67% das emissões de CH₄ e 46% das emissões de CO₂ ocorrem durante o 1^o dia após o degelo da camada superficial do lago.

Os valores medidos para câmaras de difusão variam de 0,12 a 94,1 mmol CH₄ m⁻² dia⁻¹ no lago Willians e de 0,8 a 46,4 mmol de CH₄ m⁻² dia⁻¹ no lago Shingobee. Os fluxos de CO₂ são respectivamente 0,36 a -0,15 mol CO₂ m⁻² dia⁻¹ (Willians Lake) e de 0,29 a -0,12 mol CO₂ m⁻² dia⁻¹ (Shingobee Lake).

Segundo os cálculos realizados, o lago Willians recebe cerca de 2,0 mol C m⁻² ano⁻¹, via inputs hidrológicos e perde cerca de 1,5 mol C m⁻² ano⁻¹ para a atmosfera. No lago Shingobee, os inputs são da ordem de 6,5 a 8,6 mol de C m⁻² ano⁻¹ e as perdas pela atmosfera 9,9 mol C m⁻² ano⁻¹.

Neste mesmo estudo, estimou-se que cerca de 62% (WL) e 79% (SL) do CH₄ produzido nos lagos é também consumido internamente e a diferença emitida para a atmosfera.

O Laboratório de Ozônio do INPE vem estudando as emissões de metano proveniente de áreas alagadas e da queima da biomassa. (Alvald et al, 1998)

Desde 1994 o INPE, em conjunto com a UFMS, realiza um programa experimental na região do Passo da Lontra, no Pantanal mato-grossense. Nesse experimento mede-se a emissão de metano em uma lagoa perene da região. Foram empregadas câmaras estáticas flutuantes, onde são coletadas

amostras de ar em tempos regulares, em cilindros de aço inoxidável. As amostras são encaminhadas ao laboratório do INPE para cromatografia gasosa, empregando-se um cromatógrafo com detetor de ionização de chama.

Foram realizadas campanhas mensais nos anos de 1997 e 1998, no período de verão (janeiro, fevereiro e março) onde ocorre a inundação do Pantanal, trazendo maior número de nutrientes para a lagoa. O fluxo médio neste período foi de $101,2 \pm 111,60 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal e temperatura média da água em torno de 33°C . No período de inverno (maio, junho e julho) o fluxo médio foi de $1,0 \pm 0,6 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e temperatura da água de 23°C . Foi verificada um desnível da água de 1 metro entre o verão e o inverno e observou-se uma variação sazonal de 1 para 100 nas medições realizadas.

Em um estudo recente desenvolvido pela UQAM para a Hydro Quebec (Duchemin et al, 1999) , que analisa as amostras coletadas no último verão em alguns reservatórios e lagos naturais no Canadá, demonstra que os dados provenientes de câmaras de difusão e do método da camada limite dos reservatórios hidrelétricos são da mesma ordem de magnitude dos lagos naturais pesquisados. Os valores encontrados são os seguintes:

Tabela 11 – Valores Médios de Fluxo de Dióxido de Carbono e Metano em Reservatórios Hidrelétricos e Lagos Naturais no Canadá

Reservatório	Fluxo de CO₂ mg CO₂ m⁻² d⁻¹	N Numero de Amostragens	Fluxo de CH₄ mg CH₄ m⁻² d⁻¹	N = Número de Amostragens
Gouin (idade de 80 anos)	1.165 +/- 685	11	4,5 +/-2,8	18
Lagos de Referência (Gouin)	1.700 +/- 950	10	9,4 +/- 3,6	9
Manic 5 (idade de 35 anos)	1.170 +/- 470	19	15 +/- 10	24
Lagos de Referência (Manic 5)	1.010 +/- 405	16	2,2 +/- 2,3	14
Lake Brome (poluído)	1.360 +/- 400	9	11,5 +/- 1,4	12
Lake St-Louis (Rio St- Lawrence)	2.090 +/- 820	10	36,5 +/- 10	12
Lake Croche (menos poluído)	730 +/- 170	10	9,3 +/- 2,9	11

VII- Descrição dos Trabalhos e da Metodologia de Medição Empregada

Foram determinadas as emissões de gases metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) amostrados sob a forma de bolhas, que emanam do fundo do lago por efeito de sua saturação e de seu crescimento, gases (CO_2) e (CH_4), que são transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão.

Estabeleceu-se qualitativa e quantitativamente como a emissão de gases variava, em sua composição de metano, dióxido de carbono e nitrogênio; e nas suas taxas de emissão expressas em $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Nas campanhas foram feitas medidas dos seguintes tipos:

- taxas de emissão de gás na forma de bolhas, usando-se funis para capturá-las após a sua liberação espontânea;
- taxa de gás emitido por difusão (que mais corretamente deveria ser chamado de emanação), usando-se “câmaras de difusão”. Estas são dispositivos que se assemelham a pequenos copos invertidos com volume total de 75 ml e capazes de conter submersa uma “bolha” de ar atmosférico a pequena profundidade (cerca de 20 cm abaixo da superfície) com superfície de contato de $0,22 \text{ dm}^2$, através da qual se dá a troca gasosa, a emanação, aqui chamada de difusão. Após contato de 10 minutos, uma alíquota da “bolha” é levada ao laboratório e a variação da concentração de cada gás é estimada cromatograficamente, podendo-se dela calcular a taxa de emissão ou absorção, conforme o caso.

As amostras foram coletadas empregando-se um conjunto de 16 funis coletores de bolhas (cones de napa sintética, com armação de alumínio, diâmetro de 0,7m e acoplados a garrafas coletoras de gases). (Foto 9)

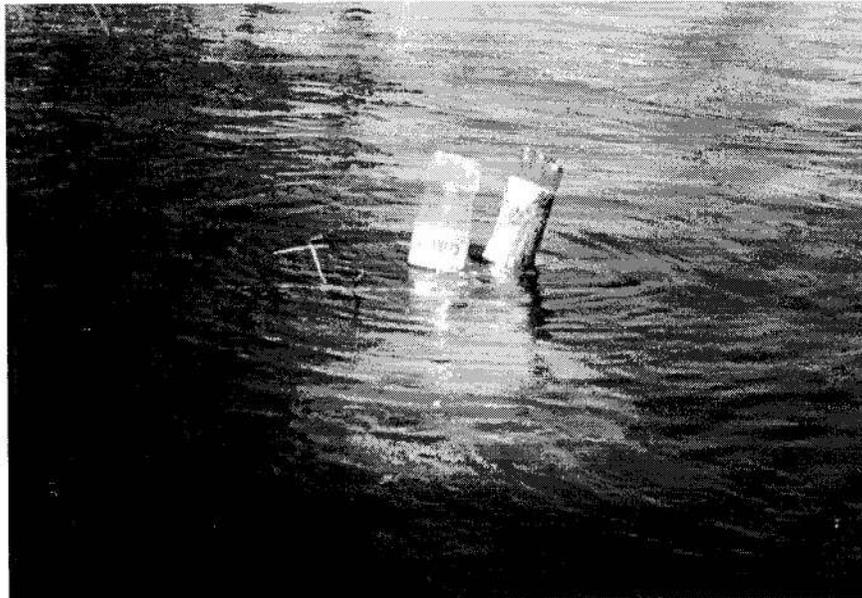


Foto 9 - Funil Coletor de Bolhas em Sub-Superfície

Fonte: Foto (M.A. Santos)

Os funis foram dispostos em subsuperfície (em torno de 1 metro de profundidade) acopladas a garrafas plásticas que serviam como bóias e ancorados por poitas de pedras com cerca de 10kg cada uma. (Foto 9)

A escolha do sítio de amostragem e a sequência dos funis foram determinadas por parâmetros como: densidade da vegetação alagada, tempo de enchimento do local (cota do reservatório), profundidade, presença de vegetação semi-afogada, região geográfica do reservatório.

Foram realizadas amostragens em nove reservatórios, em duas campanhas distintas, tentando captar o efeito sazonal climático e o comportamento das emissões no tempo. Os pontos de amostragens nos reservatórios foram essencialmente:

- região próxima à barragem, em diferentes profundidades (procurou-se nesta região do reservatório, determinar um padrão de emissão para regiões muito profundas e onde presume-se que foram previamente desmatadas);
- região abrigada do reservatório, em braço de antigo rio e em diferentes profundidades, onde presumidamente havia vegetação que não foi previamente desmatada (procurou-se nesta região do reservatório, determinar um padrão de emissão para regiões mais rasas e de intensa atividade biológica);
- região abrigada do reservatório em diferentes profundidades, em algum braço de rio na região oposta à amostragem anterior (procurou-se nesta região do reservatório, determinar similaridades ou diferenças no padrão de emissão anteriormente encontrado);

- região à montante do reservatório, onde pode ocorrer presença de macrófitas aquáticas (procurou-se determinar um padrão de emissão para áreas onde a presença de maior carga orgânica possa influenciar nas taxas de emissão).

Os funis permaneciam por 24 horas no local, onde durante este período as bolhas que emanavam do fundo eram capturadas e as garrafas coletoras eram então fechadas herméticamente dentro da água e recolhidas para posterior análise em laboratório.



Foto 10 - Vegetação Semi-Afogada (Paliteiro) no Sítio de Amostragem do Boa Nova no Reservatório de Serra da Mesa

Fonte: M.A. Santos

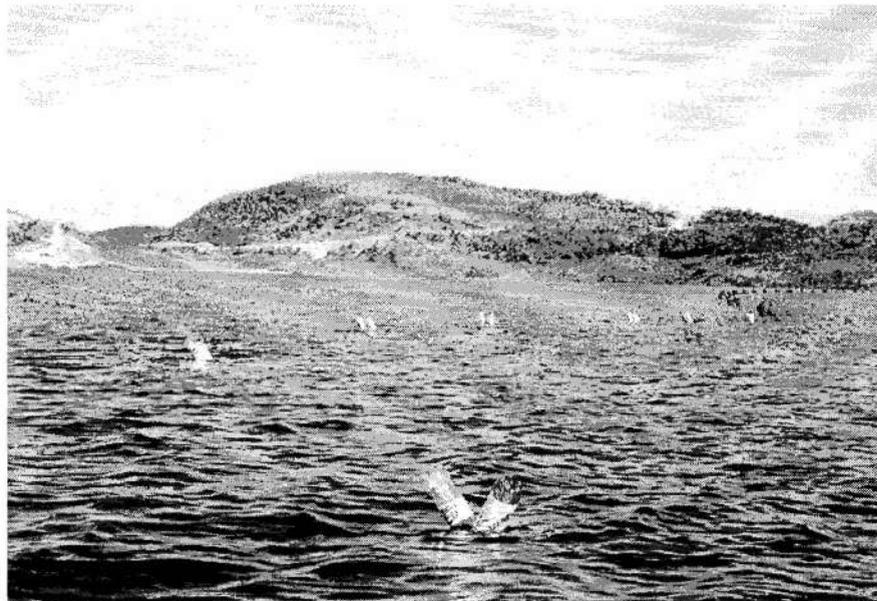


Foto 11 - Sítio de Amostragem MRN-50 (Próximo à Barragem da UHE de Serra da Mesa)

Fonte: M.A. Santos

No laboratório cromatográfico, instalado nos alojamentos próximos à represa, foram feitas 800 análises cromatográficas de amostras de gás ou gás em água trazidas da represa. (Foto 12)

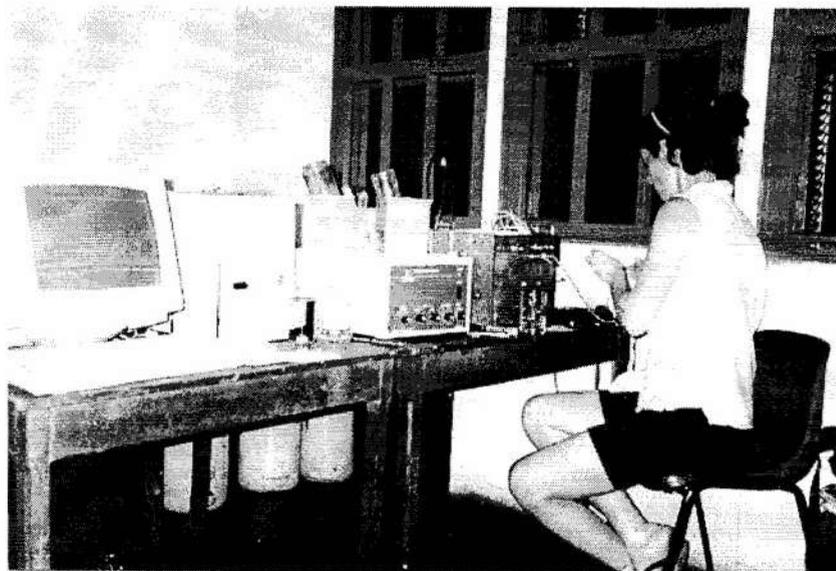


Foto 12 - Laboratório de Cromatografia Gasosa Montado na UHE de Serra da Mesa

Foto (M.A.Santos)

Para obter taxas de emissão, seja por bolhas ou por difusão, foram usados os valores medidos para as diversas faixas de profundidade e foram estabelecidas funções matemáticas aproximadas que descreviam as taxas de emissão em função da profundidade. Uma das funções era uma reta e as outras exponenciais.

As taxas foram expressas em mg de gás $m^{-2} d^{-1}$. Multiplicando-se os pares correspondentes de área e taxa se obtinha a massa total de gás emitido para cada faixa de profundidade da represa. A soma dos valores obtidos representa a massa emitida pela represa toda. A partir das massas totais emitidas foram calculadas para cada gás taxas médias para a represa expressas em $mg m^{-2}d^{-1}$.

Uma descrição detalhada da metodologia de medição e de análise das amostras de gases dos reservatórios hidrelétricos estudados está contida no apêndice A e em Rosa et al (1999).

VIII - Método do Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa das Hidrelétricas Comparadas com Termelétricas Equivalentes

O método baseia-se no princípio da emissão de carbono evitada por uma determinada planta hidrelétrica em comparação com um outro tipo de tecnologia de geração de energia elétrica. (Rosa et al, 1996)

Para tanto, foram definidos alguns parâmetros necessários ao cálculo proposto, ou sejam:

- densidade de biomassa da vegetação afogada em (t/ha);
- percentual de carbono estocado na biomassa em (%);
- percentual da biomassa que sofre decomposição e que se transforma em CH₄ (%);
- a área inundada pelo reservatório em (km²);
- coeficiente de potência elétrica por m² inundado.

Para o cálculo da emissão de CH₄ e CO₂ no período de tempo considerado pode-se fazer uma simples extrapolação das emissões medidas nos reservatórios hidrelétricos estudados. Esta é uma forma conservadora de fazer a extrapolação, mas os resultados até agora encontrados revelam a presença de outras fontes de matéria orgânica, além da biomassa pré-existente e que foi afogada. Caso tivéssemos apenas a emissão da decomposição da biomassa afogada, pois o valor da emissão da biomassa afogada decresce com o tempo, teria-se um valor projetado de emissão ao longo do tempo decrescente.

Podemos admitir que este período de tempo considerado está dentro de uma vida útil média de 50 anos para a usina, admitindo-se uma renovação de mais 50 anos. A Emissão Evitada de Carbono (EEC) representa a diferença entre a quantidade de carbono emitido por uma termelétrica de potência equivalente à de uma hidrelétrica e a quantidade de carbono emitida pela hidrelétrica. Deve-se ponderar a emissão do CH₄ pelo seu GWP (Global Warming Power).

Para obtermos o EEC é preciso antes calcular a energia gerada anualmente pela hidrelétrica estipulada, por unidade de área inundada caso não se tenha este dado a mão:

$$E = f P H \quad (1)$$

onde,

E = energia gerada no ano/unidade de área;

f = fator de capacidade da hidrelétrica;

P = potência da hidrelétrica por unidade de área;

H = número de horas anuais (8.760 horas);

A emissão de CO₂ pela termelétrica equivalente que substituiria a hidrelétrica, para gerar a mesma quantidade de energia elétrica E por ano, ao longo de T anos, é:

$$\alpha = \frac{EcT}{e} \quad (2)$$

onde,

E = energia gerada;

c = coeficiente de emissão de CO₂ do combustível.

T = número de anos;

e = eficiência da termelétrica;

O fator de capacidade expressa a relação prevista entre a potência média efetivamente utilizada, ao longo de um período grande de tempo, e a potência instalada nominalmente. Este fator é tipicamente $f = 0,5$ nas hidrelétricas brasileiras, supermotorizadas para atenderem a ponta (máximo de potência diário) além de fornecerem a energia firme. Esta é garantida pelos reservatórios grandes, dimensionados para armazenar a água prevendo períodos de seca. É possível mudar esta configuração visando reduzir a área inundada. Isto implicaria em perda da energia firme, obrigando o uso da complementação térmica da geração elétrica em períodos secos.

A eficiência da termelétrica varia com a tecnologia, sendo otimizada com o uso do ciclo combinado com turbinas a gás e a vapor em seqüência. Esta limitação termodinâmica dá às termelétricas uma eficiência típica de 30 a 35%, atingindo 45% a 50% no caso mais favorável, enquanto que as hidrelétricas ultrapassam 90% de eficiência na conversão da energia hidráulica em eletricidade.

O coeficiente de emissão de CO₂ varia com o combustível sendo máximo para o carvão e mínimo para o gás natural, ficando os derivados de petróleo em posição intermediária. Na hipótese de uso da biomassa, esta pode ser renovável, no caso do bagaço de cana ou da lenha de floresta plantada ou manejada e emissões líquidas nulas.

Vamos definir de maneira mais geral possível a Emissão de Carbono Evitada (ECE) num tempo T:

$$e = \beta - \chi \quad (3)$$

onde β e χ são as emissões totais ponderadas de carbono pela termelétrica e pela hidrelétrica, respectivamente. Usando a aproximação usual tomar um valor G, dado pelo potencial de

aquecimento global definido pelo IPCC, para ponderar o efeito do metano no aquecimento global, podemos escrever:

$$\beta = \alpha + G \phi \quad (4)$$

$$\chi = \gamma + G \eta \quad (5)$$

onde

α = emissão de CO₂ pela termelétrica;

G = fator de ponderação do metano em relação ao CO₂ (GWP);

ϕ = emissão de CH₄ pela termelétrica;

γ = emissão de CO₂ pela hidrelétrica;

η = emissão de CH₄ pela hidrelétrica.

Podemos considerar nas emissões das hidrelétricas além da decorrente da biomassa preexistente que foi submersa, outra permanentemente produzida após o enchimento. Vamos designar as emissões devidas a esta por λ e μ , referindo-se respectivamente ao (CH₄) metano pela hidrelétrica e ao (CO₂) dióxido de carbono pela hidrelétrica.

Em contrapartida há as emissões de metano e de dióxido de carbono devido às inundações sazonais na área, sem a barragem. Vamos designá-las por π (para o caso do metano) e σ (para o caso do dióxido de carbono), que devem ser subtraídos das emissões das hidrelétricas. Podemos incluir nos termos π e σ a absorção dos dois gases da atmosfera pelo espelho d'água da represa.

Como uma primeira hipótese de trabalho, na subtração $\beta - \chi$ cancelamos os termos como se as contribuições, positivas e negativas, com valores inferiores aos dos termos dominantes, se anulassem.

$$G \phi - G \lambda - \mu + G \pi + \sigma = D \cong 0 \quad (6)$$

onde:

ϕ = emissão de CH₄ pela termelétrica;

λ = emissão de CO₂ pela hidrelétrica;

μ = emissão de CO₂ permanentemente produzida pelo reservatório;

π = emissão de metano por inundações sazonais;

σ = emissão de CO₂ por inundações sazonais;

G = fator de ponderação do metano em relação ao CO₂ (GWP);

Com esta aproximação, restaria calcular:

$$e = \alpha - G \eta - \gamma \quad (7)$$

α = emissão de CO₂ pela termelétrica;

G = fator de ponderação do metano em relação ao CO₂ (GWP);

γ = emissão de CO₂ pela hidrelétrica;

η = emissão de CH₄ pela hidrelétrica.

admitindo que o erro cometido fica dentro da ordem de magnitude das incertezas dos parâmetros usados. γ pode ser da ordem de grandeza de η , conforme nossas considerações sobre o biogás. Por outro lado o fator G é grande de modo que G η pode ser maior que γ .

Haverá uma economia de emissão de carbono, do ponto de vista do aquecimento global se

$$\beta > \chi \quad (8)$$

implicando

$$e > 0$$

o que indica o mérito da hidrelétrica em relação à termelétrica. Se $e < 0$ não há o mérito.

Para avaliar o quanto cada opção contribui para o aquecimento global, podemos definir um coeficiente relativo análogo ao inverso do R :

$$RI = \frac{\beta}{\chi} \quad \text{ou} \quad RI = \frac{\beta}{\gamma} \quad \text{na hipótese de cancelamento da emissão de CH}_4 \text{ pela termelétrica}$$

sendo obviamente a condição de mérito da hidrelétrica em relação à termelétrica expressa pela desigualdade

$$RI > 1$$

Na abordagem acima fizemos um balanço das emissões contabilizando o metano emitido multiplicando-o por um fator G, dado pelo GWP conforme o IPCC, 1995.

IX – Cálculo da Emissão Evitada de Carbono dos Reservatórios Hidrelétricos Estudados

IX.1 – Descrição da Extrapolação dos Dados de Análise para o Reservatório

Para a extrapolação foram selecionados nove reservatórios localizados em várias latitudes e de diversas idades, e em cada um deles foram obtidos valores médios representativos dos fluxos mensurados. Desta forma pode-se quantificar a emissão em função do tipo da represa, idade e latitude geográfica, possibilitando com isto uma estimativa para o conjunto das represas brasileiras. A emissão de cada uma das represas selecionadas foi determinada por amostragem em diversos pontos com “extrapolação” dos resultados para se obter um valor válido para a represa toda.

Observou-se anteriormente que havia forte dependência com tipo de ambiente da taxa de emissão de metano por bolhas. Os tipos de ambiente percebidos como diferentes eram paliteiro, calha e ambiente ocupado por vegetação terrestre entre períodos anuais de inundação. Incluindo dados de outros reservatórios, novas variáveis passaram a ser percebidas como importantes no estabelecimento do regime de emissão. Estas eram: profundidade do local, tipo de vegetação inundada, idade do afogamento, temperatura da água, regime de ventos e intensidade da correnteza.

Estas características complementam o critério anteriormente adotado não o invalidando. Na medida em que a idade do afogamento aumenta, a profundidade do local tende a ser característica dominante na emissão ebulitiva embora afete pouco a emanação.

Com estas variáveis em mente se estabeleceu um plano de coleta de gases fortemente baseado em faixas de profundidade. Este enfoque engloba o critério anterior: as baixas profundidades coincidem com as áreas periodicamente expostas e colonizadas por nova vegetação terrestre, e as maiores coincidem com as regiões de “calha”. Resultados preliminares mostram que a dependência da profundidade é muito regular, mas há desvios devido à idade e tipo de vegetação inundada. O lado forte do critério da profundidade é que se pode obter dados precisos sobre que proporção do reservatório é situada em cada faixa de profundidade, eliminando com isto a necessidade do julgamento um tanto subjetivo de quanta área é ocupada por, digamos, paliteiros.

IX.2 – Resultados das Emissões para cada Reservatório e das Emissões Evitadas

Este trabalho se propôs a calcular as emissões equivalentes das hidrelétricas pesquisadas com as diferentes tecnologias de geração termelétrica de potência equivalente no período de 100 anos, tomando-se a média das medições realizadas nas duas campanhas de amostragem extrapolados para os reservatórios como um todo.

Desta forma, procedeu-se a soma das partes advindas do transporte por bolhas e por difusão molecular e obteve-se a emissão total do lago para o período de tempo considerado. Este valor será empregado para a extrapolação pelo período de 100 anos.

A taxa de emissão foi calculada tomando por base os dados obtidos nas nossas medições experimentais ($\text{kg gás km}^{-2} \text{ d}^{-1}$), sendo o valor médio encontrado para as duas campanhas de cada reservatório. As emissões de carbono foram projetadas para 100 anos de funcionamento da usina. Este intervalo de tempo é razoavelmente aceito para a vida útil de uma usina hidrelétrica e suficientemente longo para que se possa comparar os efeitos de forçamento da radiação do CH_4 em relação ao CO_2 .

Os resultados são o produto de duas campanhas de coletas de dados e a extrapolação dos valores adotada é uma hipótese conservadora para o caso das emissões da hidrelétrica, visto que as emissões são projetadas como constantes ao longo do período de tempo avaliado.

Os resultados, expressos em massa de cada gás e por dois tipos de processo de transporte encontram-se dispostos nas tabelas 12 e 13. Os valores expressos em massa de gás (kg) por unidade de área (km^2) e por unidade de tempo (dia) foram em uma primeira operação, transformados em massa de carbono equivalente por unidade de área e multiplicados pelo número de dias do ano.

Posteriormente, procedeu-se a transformação dos resultados de fluxo de carbono por unidade de área do reservatório.

Tabela 12 - Resultados da 1a. Campanha de Medições de Gases de Efeito Estufa de Sete Reservatórios Hidrelétricos

	Bolhas		Difusão		Total		Total/ano	
	kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹	
	CH ₄	CO ₂						
Miranda	29,2	0,38	233,3	4.980	262,5	4.980	95.812,5	1.817.700
Três Marias	273	5,16	55,37	-142,3*	328	-137,1	119.720	-50.041,5
Barra Bonita	4,81	0,32	14,37	6.434	19,1	6.434	6.971,5	2.348.410
Segredo	2,01	0,032	8,27	4.789	10,3	4.789	3.759,5	1.747.985
Xingó	1,85	0,024	28	9.837	29,85	9.837	10.895,25	3.590.505
Samuel	19,3	0,65	164,3	8.087	183,60	8.088	67.014	2.952.120
Tucuruí	13,1	0,15	192,2	10.433	209,20	10.433	76.358	3.808.045

*este número negativo equivale dizer que em termos médios houve absorção de CO₂ neste reservatório durante o período de tempo em que foram realizadas as amostragens

	Total/Ano		Total/Reservatório/Ano		Total/Reservatório/Ano	
	kg km ⁻² ano ⁻¹		kg C - CH ₄ /ano		t C - CH ₄ /ano	
	C - CH ₄	C - CO ₂	kg C - CH ₄ /ano	kg C-CO ₂ /ano	t C - CH ₄ /ano	t C-CO ₂ /ano
Miranda	71.859	495.686	3.636.084	25.081.751	3.636,08	25.081,75
Três Marias	89.790	-13.646	93.381.600	-14.192.169	93.381,60	-14.192,17
Barra Bonita	5.228	640.411	1.631.331	199.808.358	1.631,33	199.808,36
Segredo	2.819	476.675	231.209	39.087.391	231,21	39.087,39
Xingó	8.171	979.130	490.286	58.747.842	490,29	58.747,84
Samuel	50.260	805.043	28.095.619	450.019.106	28.095,62	450.019,11
Tucuruí	57.268	1.038.453	139.162.455	2.523.442.907	139.162,46	2.523.442,91

Tabela 13 - Resultados da 2a. Campanha de Medições de Gases de Efeito Estufa de Sete Reservatórios Hidrelétricos

	Bolhas		Difusão		Total		Total	
	kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹		kg km ⁻² d ⁻¹	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /ano	CO ₂ /ano
Miranda	18	0,16	27,4	3.795	45,4	3.795	16.571	1.385.175
Três Marias	55,8	2,03	9,1	2.410	64,9	2.412	23.688,5	880.380
Barra Bonita	3,1	0,04	21,7	1.348	24,8	1.348	9.052	492.020
Segredo	2,1	0,07	5,7	601	7,8	601	2.847	219.365
Xingó	19,5	0,04	27	2.259	46,5	2.259	16.972,5	824.535
Samuel	13,6	0,39	10,8	5.350	24,40	5.350	8.906	1.952.750
Tucuruí	2,4	0,16	12,2	6.516	14,60	6.516	5.329	2.378.340

	Total kg km ⁻² ano ⁻¹		Total/Reservatório/Ano		Total/Reservatório/Ano	
	C - CH ₄ /ano	C - CO ₂ /ano	kg C - CH ₄ /ano	kg C-CO ₂ /ano	t C - CH ₄ /ano	t C-CO ₂ /ano
Miranda	12.428,25	377.737,22	628.869	19.113.503	628,87	19.113,50
Três Marias	17.766,38	240.079,63	898.978	12.148.029	898,98	12.148,03
Barra Bonita	6.789,00	134.173,85	343.523	6.789.197	343,52	6.789,20
Segredo	2.135,25	59.820,84	108.043	3.026.934	108,04	3.026,93
Xingó	12.729,38	224.850,69	644.106	11.377.445	644,11	11.377,45
Samuel	6.679,50	532.514,93	337.982	26.945.255	337,98	26.945,26
Tucuruí	3.996,75	648.573,32	202.235	32.817.809	202,24	3.2817,81

Dos resultados médios finais de cada reservatório tirou-se a média das duas campanhas expressos em tonelada de carbono equivalente por ano e extrapolou-se este valor para 100 anos (Tabela 14)

Tabela 14 - Média dos Resultados das Campanhas de Medições de Gases de Efeito Estufa de Sete Reservatórios Hidrelétricos

	Total/Reservatório/Ano (Média das 2 Campanhas)		Total/Reservatório/100 Anos (Média das 2 Campanhas)	
	t C - CH ₄ /ano	t C-CO ₂ /ano	t C - CH ₄ /100 anos	t C-CO ₂ /100 anos
Miranda	2.132,48	22.097,63	213.247,69	2.209.762,75
Três Marias	47.140,29	-1.022,07	4.714.028,93	-102.207,03
Barra Bonita	987,43	103.298,78	98.742,72	10.329.877,80
Segredo	169,63	21.057,16	16.962,65	2.105.716,30
Xingó	567,20	35.062,64	56.719,63	3.506.264,40
Samuel	14.216,80	238.482,18	1.421.680,11	23.848.218,08
Tucuruí	69.682,35	1.278.130,36	6.968.234,53	127.813.035,88

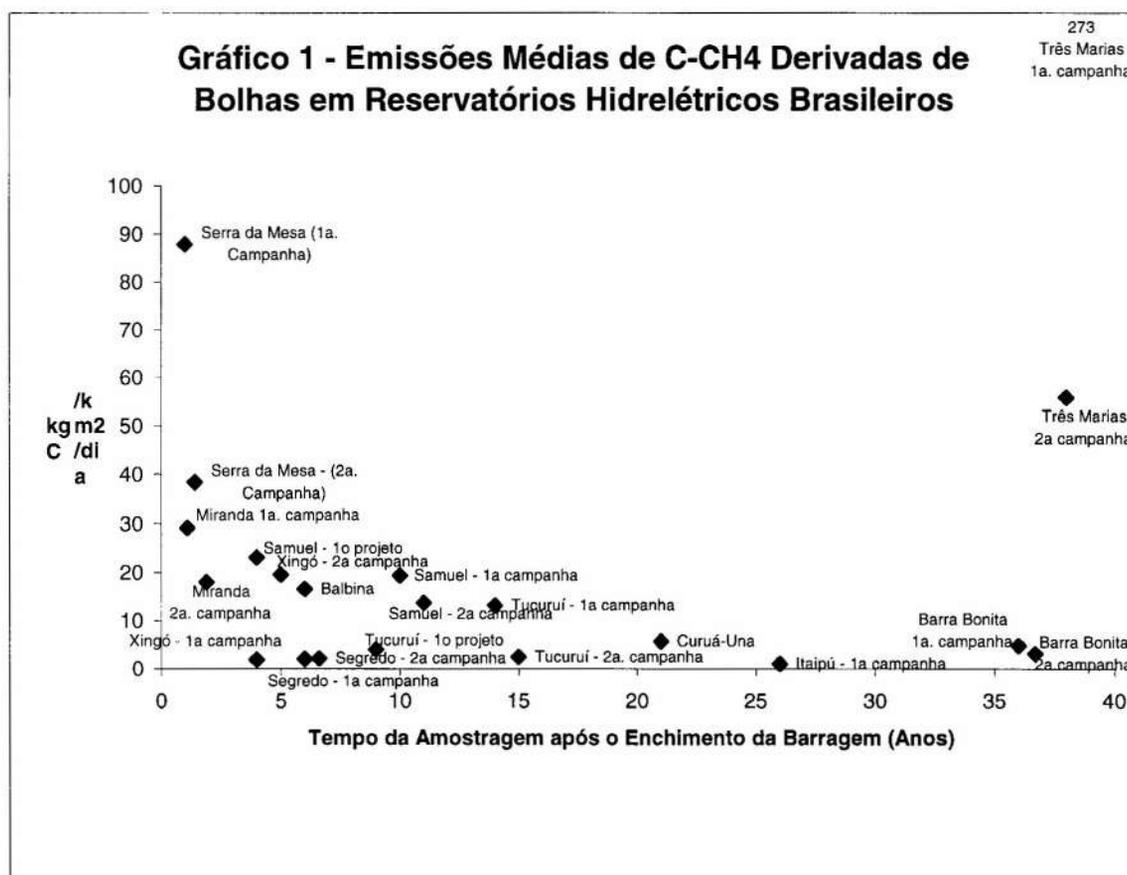
Os gráficos a seguir retratam os resultados médios encontrados nos reservatórios pesquisados e de outros reservatórios estudados anteriormente. Além dos sete reservatórios, acrescentamos os dados referentes aos reservatórios de Curuá-Una (Bolhas) na qual realizamos uma experiência conjunta com cientistas canadenses e Itaipú e Serra da Mesa, objetos de estudos específicos encomendados pelas respectivas empresas.

Em termos gerais, para o caso do metano emitido por bolhas, pode-se notar que há uma tendência de apresentação de um decaimento entre os resultados apresentados na primeira campanha de amostragens em relação à segunda. Reservatórios mais jovens

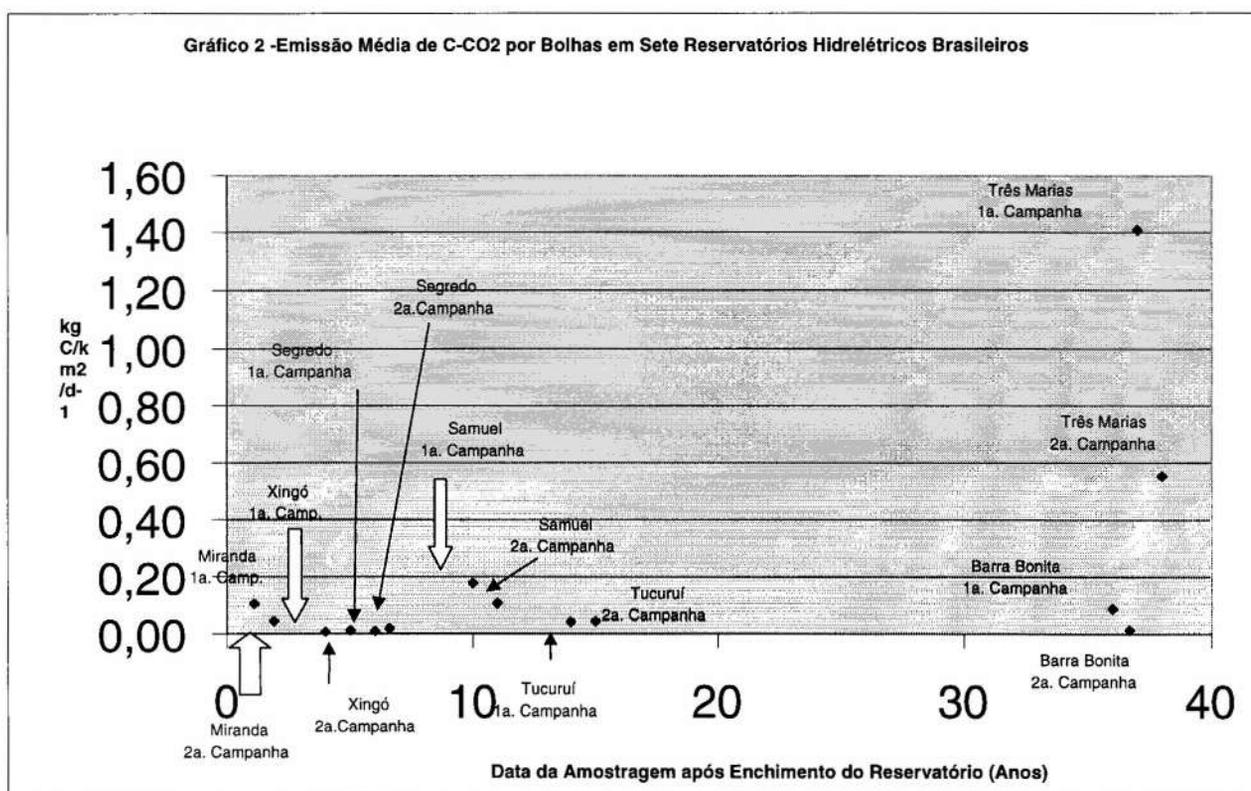
tendem a emitir mais emissões por bolhas que os mais antigos.

Excetuando-se o caso de Três Marias, todos os casos mostraram uma forte correlação entre o aumento da idade do reservatório e a diminuição do fluxo de gases. Este efeito pode ser bem notado no caso do CH₄ por ebulição, mostrado no gráfico logo abaixo. Três Marias tem cert aspecto de represa continuamente rejuvenescida, pois seus abaixamento de nível durante a época seca é de cerca de 9 metros. Na longa faixa de terra exposta brota vegetação terrestre que, ao ser inundada, se decompõe com características de vegetação inundada.

O gráfico a seguir mostra no eixo x o tempo decorrido em anos, quando da realização da amostragem, após o enchimento da barragem e no eixo y, o fluxo médio de carbono equivalente no metano emitido por bolhas, expresso em kg C km⁻² dia⁻¹.



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 profundidade da amostragem e decaimento das emissões com o tempo. 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. O gráfico a seguir ilustra este comportamento da emissão independente da idade do lago.



O outro processo de transporte de gás medido foi a difusão molecular. Aqui, não foi encontrada nenhum tipo de padrão de representação dos dados médios que explicassem um decaimento das emissões de metano e de dióxido de carbono. Os dados médios das duas campanhas de medição, representados nos gráficos a seguir, tem um comportamento diferente do encontrado para o metano por bolhas. Para a difusão, reservatórios com um tempo de fechamento da barragem maiores apresentam fluxos de ambos os gases, maiores que reservatórios recentemente fechados, ou seja, não apresentam dependência dos fluxos medidos com a idade do reservatório.

Os fluxos de gases no processo de difusão são bem maiores que por ebulição, especialmente no caso do dióxido de carbono, que apresenta maior dissolução na água. Cerca de 99% do CO_2 que sai para a atmosfera sai por difusão molecular do gás na água. Já no caso do CH_4 há uma faixa de variação que vai de 14% a 90% de emissão do gás pelo processo de difusão molecular. Os gráficos a seguir mostram as taxas médias de emissão por difusão molecular confrontadas com a idade do reservatório.

Nota-se entretanto, que quando os resultados são comparados para um mesmo reservatório há uma tendência de resultados médios menores na Segunda campanha. Porém, precisariam-se de mais medidas para uma afirmação mais precisa.

Gráfico 3 - Emissão Média de C-CO2 por Difusão em Sete Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros

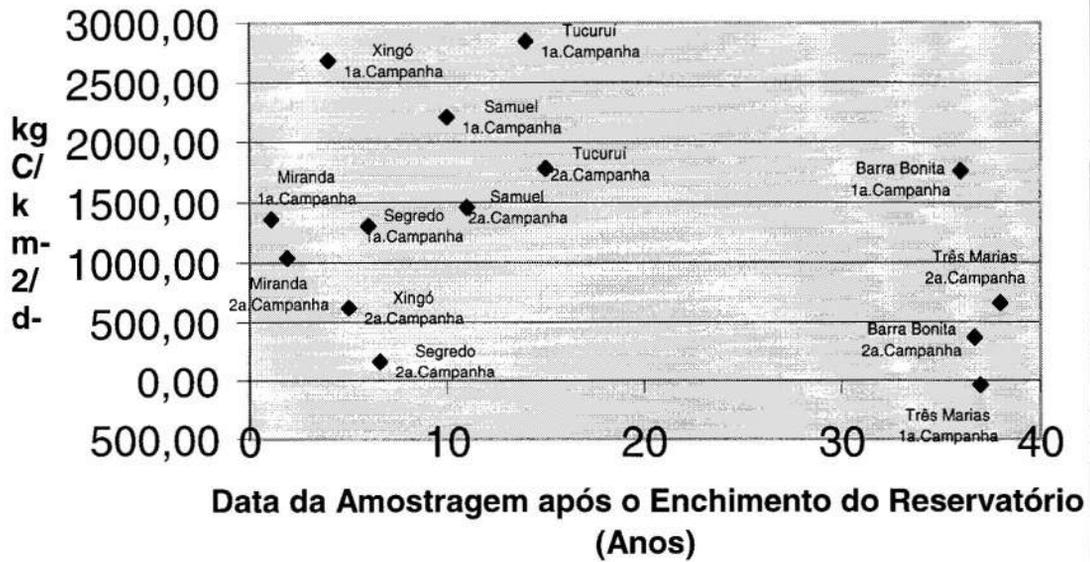
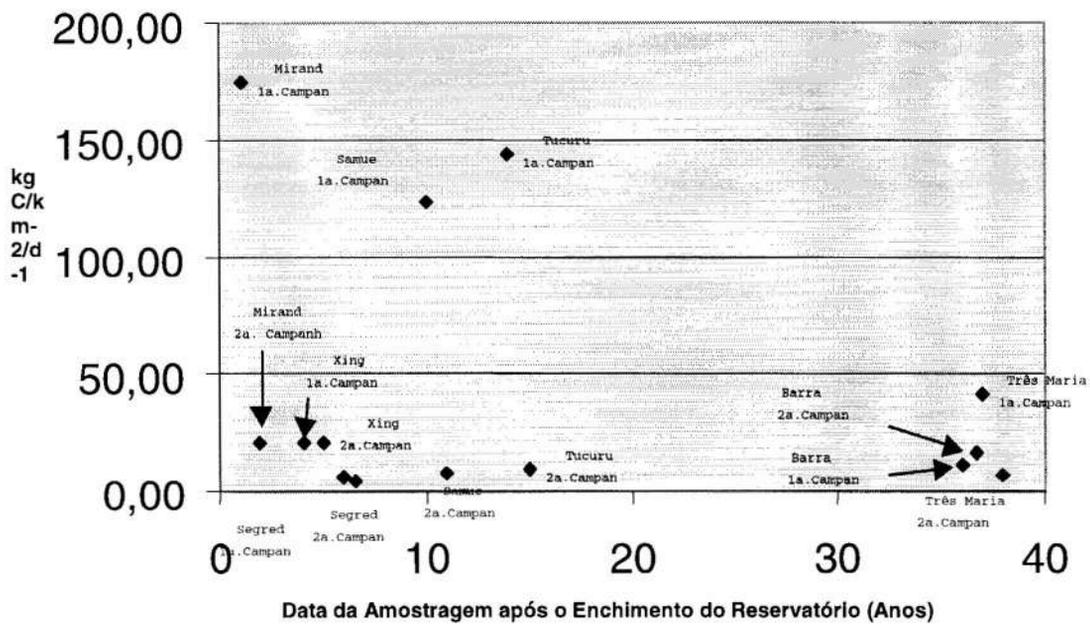


Gráfico 4 - Emissões Médias de C-CH4 por Difusão em Sete Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros



Baseado na metodologia descrita anteriormente foi calculada a emissão evitada de carbono de cada uma das hidrelétricas medidas com a tecnologia de geração termelétrica, empregando-se diferentes combustíveis e eficiência da tecnologia. Neste caso, comparamos termelétricas virtuais de mesma potência, gerando a mesma quantidade anual de energia, levando em conta a eficiência de cada uma.

Calculou-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 no. de horas do ano (8.760), resultando na quantidade de energia gerada, expressa em MWhano⁻¹.

Para o cálculo da emissão de carbono emitida pela tecnologia termelétrica tomou-se a mesma energia anual gerada pela hidrelétrica, multiplicada por um fator de emissão de carbono, expresso em tC/MWh e pelo número de anos estimado para a operação das tecnologias (100 anos) dividido pela eficiência média de cada tecnologia, conjugada a um determinado combustível. A eficiência variou de 30% a 35% no caso do ciclo simples, movido a óleo diesel, carvão mineral e óleo combustível a 45 % no caso do ciclo combinado a gás natural.

Para o cálculo do carbono evitado tomou-se a emissão de carbono da termelétrica ao longo de 100 anos de operação menos a emissão de carbono equivalente do metano pela hidrelétrica multiplicada pelo potencial de aquecimento global para 100 anos, menos a emissão de dióxido de carbono da hidrelétrica em 100 anos. Os cálculos completos estão dispostos no anexo B.

A partir dos resultados obtidos neste cálculos, foi montado uma hierarquia das hidrelétricas estudadas, tomando em conta a economia de emissão de gases em relação às termelétricas equivalentes. Na tabela 15 a seguir estão dispostos os resultados finais, que mostram as combinações entre as tecnologias de geração de energia elétrica (eficiências) e combustíveis utilizados.

Como pode-se notar, há um ranking bastante amplo de resultados comparados entre hidrelétricas e termelétricas. Há hidrelétricas muito boas (Xingó, Segredo) do ponto de vista da emissão de carbono em comparação com as térmicas e hidrelétricas ruins como por exemplo Barra Bonita, Três Marias e Samuel. Estes resultados comparados ilustram com maior evidência que este problema deva ser investigado caso a caso, pois grandes variações podem ocorrer de uma hidrelétrica para outra.

Tabela 15 – Economia de Emissão de Carbono das Hidrelétricas em Comparação com Termelétricas Virtuais de Potência Equivalente Durante 100 anos de Operação (4 tipos de combustíveis e três tipos de eficiência)

Nome	N*	Combustível e Tecnologia
Xingó	280,79	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Xingó	262,07	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Xingó	224,64	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Segredo	209,62	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Segredo	195,64	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Segredo	167,69	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Xingó	87,36	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Tucuruí	83,35	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Tucuruí	77,79	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Tucuruí	66,68	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Segredo	65,21	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Miranda	35,64	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Miranda	33,27	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Miranda	28,52	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Tucuruí	25,93	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Miranda	11,09	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Barra Bonita	4,72	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Barra Bonita	4,40	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Barra Bonita	3,77	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Três Marias	3,48	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Três Marias	3,25	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Três Marias	2,78	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Samuel	2,22	carvão mineral (ciclo simples 35% eficiência)
Samuel	2,07	óleo diesel (ciclo simples 30% eficiência)
Samuel	1,78	óleo combustível (ciclo simples 35% eficiência)
Barra Bonita	1,47	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Três Marias	1,08	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)
Samuel	0,69	gás natural (ciclo combinado 45% de eficiência)

*N= $\frac{\text{Emissão de Carbono de uma Termelétrica Equivalente}}{\text{Emissão de uma Hidrelétrica Específica}}$

X – Extrapolação dos Dados Medidos para outras Hidrelétricas no Brasil

X.1 – Extrapolação Baseada na Média dos Resultados por Profundidade e pela Latitude Geográfica

Para este cálculo, empregaram-se os valores médios de fluxo de gases de efeito estufa, a partir da ponderação de sua extrapolação por faixas de profundidade, de acordo com a metodologia exposta anteriormente. Os dados médios de duas campanhas por reservatórios estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 16 - Médias das Taxas Encontradas nas Duas Campanhas e Latitude dos Reservatórios

	kg CO ₂ km ⁻² d ⁻¹	kg CH ₄ km ⁻² d ⁻¹	Latitude
Tucuruí	8.475	112	4°
Samuel	6.719	104	9°
Xingó	6.048	38	10°
Tres Marias	1.138	196	18°
Miranda	4.388	154	19°
Barra Bonita	3.891	22	23°
Segredo	2.695	9,1	26°

A partir dos dados de fluxo e dos dados do parque hidrelétrico brasileiro em operação, calculamos os valores de fluxo para os outros projetos. Cabe destacar que aglutinamos o conjunto de hidrelétricas pela latitude como fator determinante na escolha do valor a ser empregado na extrapolação.

Desta forma, os dados de Tucuruí foram utilizados na extrapolação para aquele conjunto de hidrelétricas com latitudes próximas à do reservatório de referência originalmente medido.

De acordo com a Eletrobrás, o parque hidrelétrico brasileiro é composto por 512 hidrelétricas, divididas em grandes, médias e pequenas centrais. Após o cruzamento do Banco de Dados SIGBDA da Eletrobrás e do Banco de Dados Hidrelétricos da ANEEL, só foi possível obter dados de potência juntamente com a área do reservatório para 256 hidrelétricas.

Segundo consultas à Eletrobrás e à ANEEL (antigo DNAEE) esse conjunto de hidrelétricas é bastante significativo, em torno de 59 GW de potência instalada, sendo que o total do parque hidrelétrico tem 65 GW de potência. O restante dos dados

representam o conjunto de pequenas e mini centrais disseminadas ao longo do território brasileiro.

Foram criados 9 grupos de hidrelétricas, considerando-se os sete reservatórios medidos no ano de 1999 e mais dois medidos em 1997 e 1998 nove reservatórios em que foram realizadas medições pela COPPE/UFRJ, a saber: Itaipú, Serra da Mesa, Xingó, Três Marias, Tucuruí, Samuel, Miranda, Segredo e Barra Bonita.

As hidrelétricas com latitudes próximas às hidrelétricas de referência foram então agrupadas e os valores médios de emissão de metano e de dióxido de carbono desses reservatórios aplicados. Os valores de fluxo de emissão foram então multiplicados pela área dos reservatórios pertinentes e feita uma totalização em massa de carbono equivalente.

Adotando este critério, as 256 hidrelétricas mais representativas do território brasileiro estariam emitindo cerca de 52.874 t C dia⁻¹. Os cálculos aplicados a esta metodologia encontram-se no apêndice C.

Tabela 17. Taxas medias de gases emitidos pelas represas.

	Ebulição Mg m ⁻² d ⁻¹		“ponderação” por media aritmetica emanação mg m ² d ⁻¹		total (soma) mg m ² d ⁻¹	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
Miranda	18,0	0,16	27,4	3.795	45,4	3.795
Tres Marias	55,8	2,03	9,1	2.410	64,9	2.412
Barra Bonita	3,1	0,04	21,7	1.348	24,8	1.348
Segredo	2,1	0,07	5,7	601	7,8	601
Xingó	19,5	0,04	27,0	2.259	46,5	2.259
Samuel	13,6	0,39	10,8	5.350	24,4	5.350
Tucuruí	2,4	0,16	12,2	6.516	14,6	6.516

Considerando na tabela 17 os resultados da coluna que dá o total da liberação dos gases para cada reservatório pode-se perguntar se existe dependência da emissão em função da latitude. Se de fato forem ordenados os resultados pela intensidade de emissão, obtem-se a seguinte sequência para a segunda campanha:

Reservatório	emissão mg CO ₂ m ⁻² d ⁻¹	latitude
Tucuruí	6.516	4°
Samuel	5.350	9°
Miranda	3.795	19°
Tres Marias	2.412	18°
Xingó	2.259	10°
Barra Bonita	1.348	23°
Segredo	601	26°

Com excessão da represa de Xingó o conjunto ficou essencialmente ordenado.

Porém os resultados da primeira campanha se ordenam da seguinte maneira:

Reservatório	emissão mg CO ₂ m ⁻² d ⁻¹	latitude
Tucuruí	10.433	4°
Xingó	9.837	10°
Samuel	8.088	9°
Barra Bonita	6.434	23°
Miranda	4.980	19°
Segredo	4.789	26°
Tres Marias	-137	18°

Vê-se que as intensidades de emissão obtidas na primeira campanha não seguem a ordem das latitudes, mas há pequena tendência à ordenação. Há ordenação melhor quando são feitas médias usando valores da primeira e segunda campanhas, para cada reservatório separadamente. De fato neste caso a ordenação para o gas carbônico é quase perfeita, com apenas Tres Marias destoando, mas não é boa para o metano:

Reservatório	média, 1 ^a e 2 ^a camp.		latitude
	mgCO ₂ m ⁻² d ⁻¹	mgCH ₄ m ⁻² d ⁻¹	
Tucuruí	8.475	112	4°
Samuel	6.719	104	9°
Xingó	6.048	38	10°
Serra da Mesa	2.654	84	14°
Tres Marias	1.138	196	18°
Miranda	4.388	154	19°
Barra Bonita	3.891	22	23°
Segredo	2.695	9,1	26°
Itaipu	170	10	25°

É possível que o valor baixo da média encontrada para a represa de Três Marias seja devido à situação atípica que existia quando na primeira campanha se achou

absorção de $137 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ em vez de um valor de emissão possivelmente característico de situação mais típica.

Cabe destacar que a extrapolação foi feita baseada em critérios arbitrários e outros métodos de extrapolação poderiam ser empregados. Cabe destacar aqui, o método baseado no ajuste estatístico entre a liberação dos gases e a latitude dos reservatórios, de forma a se encontrar funções matemáticas dadas pela regressão exponencial dos dados. Com os dados de latitude de todo o parque hidrelétrico em mãos bastaria então substituir o valor em graus de cada reservatório e a emissão respectiva deste reservatório seria calculada automaticamente.

X.2 – Extrapolação dos Dados a Média da Teoria da Criticalidade Auto-Organizada

Para este fim caímos no problema do cálculo da média e da extrapolação dos resultados das observações experimentais feitas em algumas hidrelétricas, em alguns pontos e em alguns dias do ano. O problema é obter um valor de emissões para cada reservatório e para o conjunto dos reservatórios existentes no país. Usamos duas aproximações diferentes, a primeira empírica e a segunda teórica:

1. média ponderada de acordo com a distribuição da profundidade em cada reservatório, agrupados por latitude;
2. média integrada para todos reservatórios assumindo a distribuição de emissões dada por uma lei de potência.

A lei de potência que usamos é típica de fenômenos chamados de criticalidade auto organizada, geralmente com um perfil fractal da intensidade do fenômeno no tempo. A lei de potência dá o número de eventos N por intensidade I (expressa no nosso caso em massa de carbono ou do gás emitida por unidade de área e de tempo)

$$N(I) = AI^{-\lambda} \quad (1)$$

As bases gerais desta teoria podem ser encontradas de forma compreensível no livro de Per Bak (1995). A idéia inicialmente exposta por este autor e colaboradores em publicação de 1987 é baseada em um modelo computacional do tipo autômato celular para simular o comportamento de uma pilha de areia sobre uma mesa sobre a qual se deixa cair continuamente areia. A uma certa altura a pilha se estabiliza rejeitando o excesso de areia através de avalanchas, em geral pequenas, algumas maiores ou grandes e muito poucas catastróficas, quando a pilha desaba total ou parcialmente. A

distribuição do número N de desabamentos varia com a intensidade I elevada a uma potência negativa fixa, $-b$, como na expressão acima.

A lei de Richter, cujo nome batiza uma das escalas de medidas de terremotos, mostra que o número de abalos sísmicos em função da intensidade segue esta mesma lei. Embora algumas extrapolações conjecturadas por Back sejam criticadas, há muitos casos em que ocorre a lei de potência como uma distribuição estatística quando perturbações muito pequenas ou fatores não controlados levam a efeitos pequenos ou grandes indiferentemente. Em geral este comportamento é associado à influência de áreas vizinhas no que ocorre em um sítio, como se verifica no autômato celular nas simulações em computador. Tais casos são verificados em deslizamentos de terra e na dinâmica de bacias hidrográficas.

Consideramos ser cabível a aplicação da lei de potência no estudo estatístico das emissões de gases em hidrelétricas pelas seguintes razões:

1. As emissões medidas têm predominantemente baixa intensidade, algumas têm intensidade maior e poucas têm grande intensidade em termos de massa de carbono por área na unidade de tempo ($tC\ m^{-2}\ ano^{-1}$).
2. Observamos grandes variações da intensidade das emissões em mesmo local e de um local para outro no mesmo tempo e em cada local da barragem ao longo do tempo, delineando um perfil fractal.
3. Há coexistência de vários fatores que influenciam a emissão no lago, desde o tempo de fechamento da barragem ou idade da represa, a vida e os processos no lago, o carbono trazido da bacia hidrográfica pela água, bombeado da atmosfera ou retirado do solo, a profundidade, a presença de oxigênio, a formação de camada anaeróbica no fundo, o regime hidrológico sazonal, a temperatura, o vento, a vazão. Portanto torna-se difícil o controle para estabelecer uma relação causal e ao elegermos algum fator entre tantos estamos sujeitos a uma grande incerteza.
4. A dificuldade de se realizar as medições experimentais in loco, para acumular dados e obter uma boa estatística para cada barragem e para o conjunto delas, motivando – nos a dar continuidade à pesquisa usando alguma técnica automática de medição.

Portanto buscou-se dar um tratamento estatístico usando uma hipótese teórica, a da lei de potência, além da média ponderada, empiricamente, por profundidade e extrapolada por latitude para o conjunto das hidrelétricas. Testamos duas distribuições do número de eventos por intensidade:

- a distribuição da lei de potência acima definida;
- a distribuição com decaimento exponencial .

Obteve-se um bom coeficiente de correlação (cerca de 0,8) na primeira destas hipóteses, melhor do que na segunda delas, a qual se revelou sofrível e foi abandonada em favor da distribuição da lei de potência. A distribuição com decaimento exponencial do número de emissões com o crescimento da intensidade significaria que cada emissão seria um evento independente, enquanto a lei de potência admite a influência da vizinhança e, através dela, de regiões distantes dentro do lago. Esta última além de ter permitido melhor ajuste entre curva teórica e dados é mais adequada interpretação do processo de emissão.

Os dados medidos foram agrupados em quatro classes combinando dois gases (CO₂ e CH₄) e dois processos de emissão (ebulição e difusão), cujas médias deram valores:

	CO ₂	CH ₄
Ebulição	Intermediários	Menores
Difusão	Maiores	Muito pequenos

No cálculo da média de todos os reservatórios usando a lei de potência, foi feita uma integral entre limites dados pelo valor máximo e pelo mínimo, obtendo um resultado que é proporcional a uma subtração de potências negativas destes valores. Como um deles é muito maior que o outro podemos desprezar o termo contendo o valor máximo, ficando o valor médio dependente apenas do mínimo. Se esta hipótese for verdadeira a emissão média teórica calculada pela lei de potência é menor do que pela média aritmética sobre o conjunto de dados acumulados, ou mesmo pela média ponderada pela profundidade. (Rosa et all, 1999)

Para se calcular a média temos que:

$$\bar{I} = \frac{\int_{I_{min}}^{I_{max}} NI dN}{\int_{I_{min}}^{I_{max}} NdN} \quad (2)$$

$$dN = -\lambda AI^{-\lambda-1} dI \quad (3)$$

Numerador =

$$= \int AI^{-\lambda} I(-\lambda) AI^{-\lambda-1} dI \quad (4)$$

$$= -\lambda A^2 \int I^{-2\lambda} dI \quad (5)$$

$$= -\lambda A^2 \left[\frac{I^{-2\lambda+1}}{-2\lambda+1} \right]_{\text{Im in}}^{\text{Im ax}} \quad (6)$$

$$= \frac{\lambda}{2\lambda-1} A^2 \left[I^{-2\lambda+1} \right]_{\text{Im in}}^{\text{Im ax}} \quad (7)$$

Denominador =

$$= \int AI^{-\lambda} (-\lambda) AI^{-\lambda-1} dI \quad (8)$$

$$= -\lambda A^2 \int I^{-2\lambda-1} dI \quad (9)$$

$$= -\lambda A^2 \left[\frac{I^{-2\lambda}}{-2\lambda} \right]_{\text{Im in}}^{\text{Im ax}} \quad (10)$$

$$= \frac{1}{2} A^2 \left[I^{-2\lambda} \right]_{\text{Im in}}^{\text{Im ax}} \quad (11)$$

$$\bar{I} = \frac{\frac{\lambda}{2\lambda-1} A^2 I_{\text{min}}^{-2\lambda+1}}{\frac{1}{2} A^2 I_{\text{min}}^{-2\lambda}} \quad (12)$$

$$\bar{I} = \frac{2\lambda}{2\lambda-1} \text{Im in} \quad (13)$$

Para o cálculo da extrapolação, empregando-se este critério, foram agregados os dados de todos os reservatórios em tipo de gás (CH₄ e CO₂) por dois tipos de processos de transporte (ebulição e emanação). Procedeu-se de tal forma pois a acumulação de

dados por cada tipo de reservatório mostrou-se insuficiente para uma análise significativa do ponto de vista estatístico.

Em seguida, criamos intervalos de classe para cada tipo de gás combinado com tipo de processo e procedemos a construção de gráficos de histogramas de forma a representar a relação entre a intensidade (emissão) e a frequência (número de vezes que o dado se enquadrou no intervalo selecionado).

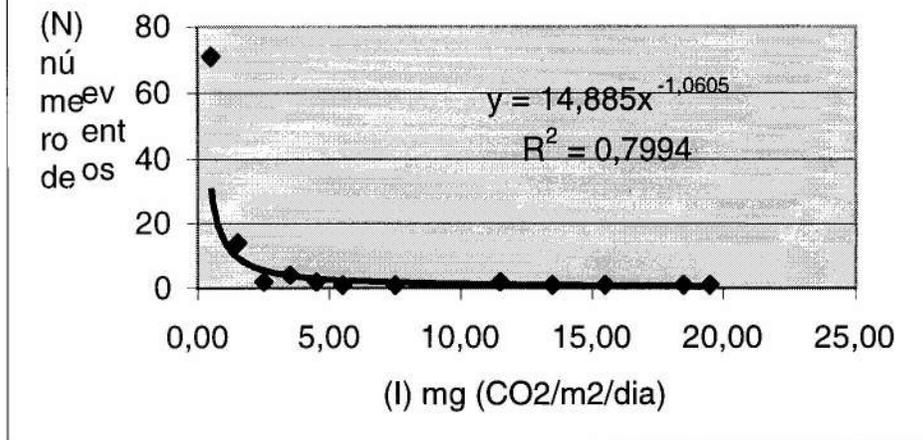
Neste caso, para construir-se os histogramas utilizou-se o valor médio de cada intervalo de classe como sendo o valor representativo. Após esta etapa, procedemos a um ajuste estatístico dos valores, como forma de se obter um padrão compatível com os pressupostos da teoria da lei da potência, ou seja, que os valores de frequência dos dados obtidos deveriam decair na medida em que se aumentava a intensidade do fenômeno.

Os ajustes realizados nos mostraram boa correlação, conforme mostraremos a seguir.

1) CO₂ por Ebulição

(I) aproximado	(N)Numero de Ocorrências	Faixa de Emissão
0,50	71	0-1
1,50	14	1,01-2
2,50	2	2,01-3
3,50	4	3,01-4
4,50	2	4,01-5
5,50	1	5,01-6
6,50		6,01-7
7,50	1	7,01-8
8,50		8,01-9
9,50		9,01-10
10,50		10,01-11
11,50	2	11,01-12
12,5		12,01-13
13,5	1	13,01-14
14,5		14,01-15
15,5	1	15,01-16
16,5		16,01-17
17,5		17,01-18
18,5	1	18,01-19
19,5	1	19,01-20

Gráfico 5 - Distribuição de Frequência das Emissões CO2 por Funis em 7 Hidrelétricas Brasileiras



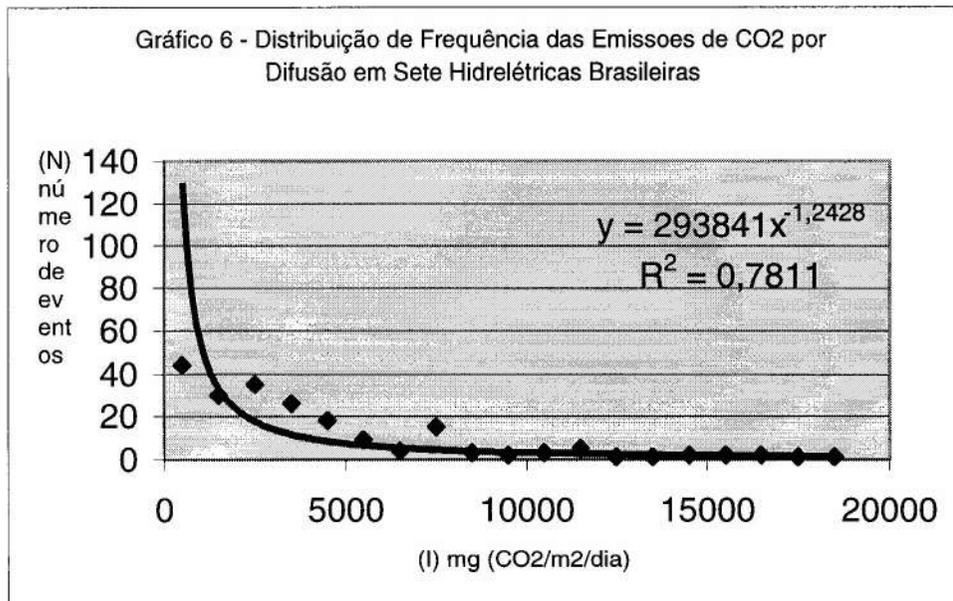
Para se obter o valor médio neste caso aplicamos a fórmula:

$$\bar{I} = \frac{2(-1,0005)}{2(-1,0005) - 1} 0,5 = 0,33 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

2) CO₂ por Emissão

(I) Aproximado	(N) Numero de Ocorrencias	Faixa de Emissão
500	44	0-1000
1500	30	1000-2000
2500	35	2000-3000
3500	26	3000-4000
4500	18	4000-5000
5500	9	5000-6000
6500	4	6000-7000
7500	15	7000-8000
8500	3	8000-9000
9500	2	9000-10000
10500	3	10000-11000
11500	5	11000-12000
12500	1	12000-13000
13500	1	13000-14000
14500	2	14000-15000
15500	2	15000-16000
16500	2	16000-17000
17500	1	17000-18000
18500	1	18000-19000

No caso da emissão de CO₂ por difusão os valores estão melhor distribuídos, sendo que 20% das medidas situam-se na faixa de 0 a 1000 mg CO₂ m⁻² dia⁻¹, enquanto outros 15 na faixa de 1000 a 2000 e outros 15% na faixa de 2000 a 3000. O gráfico com o fitting dos valores de CO₂ por difusão também apresentou uma correlação em torno de 80%



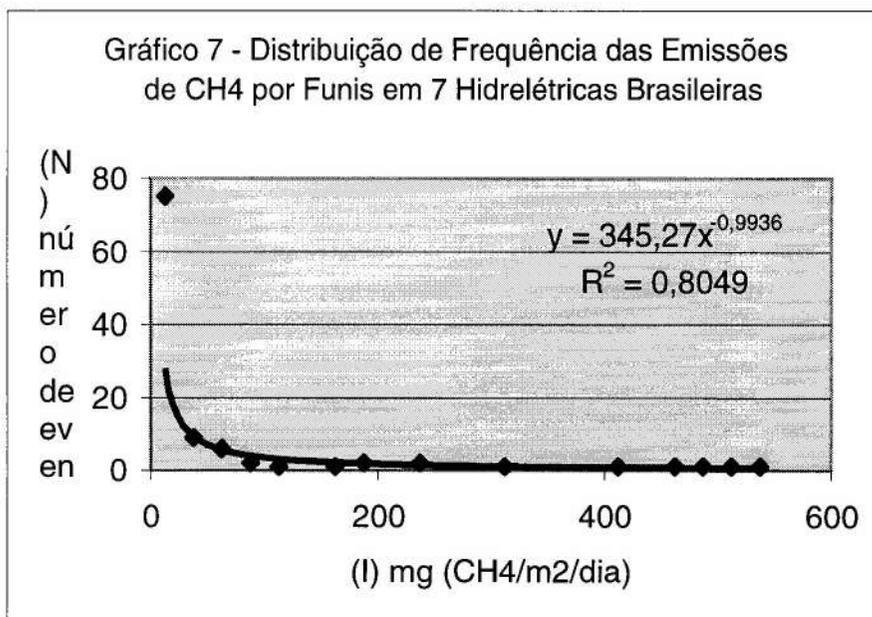
A média foi calculada desta forma:

$$\bar{I} = \frac{2(-1,2428)}{2(-1,2428) - 1} 500 = 356,55 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

2) CH₄ por Ebulição

I Aproximado	Numero de Ocorrencias	Faixa de Emissão
12,5	75	0-25
37,5	9	25,01-50
62,5	6	50,01-75
87,5	2	75,01-100
112,5	1	100,01-125
137,5		125,01-150
162,5	1	150,01-175
187,5	2	175,01-200
212,5		200,01-225
237,5	2	225,01-250
262,5		250,01-275
287,5		275,01-300
312,5	1	300,01-325
337,5		325,01-350
362,5		350,01-375
387,5		375,01-400
412,5	1	400,01-425
437,5		425,01-450
462,5	1	450,01-475
487,5	1	475,01-500
512,5	1	500,01-525
537,5	1	525,01-550

Para o metano que sai por ebulição(bolhas) o número de ocorrências dos valores encontrados está bastante concentrado. Dos valores totais 70% estão situados na faixa de 0 a 25 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹. Conforme o gráfico a seguir pode demonstrar, o ajuste estatístico mostrou uma correlação de 80% entre os parâmetros analisados.



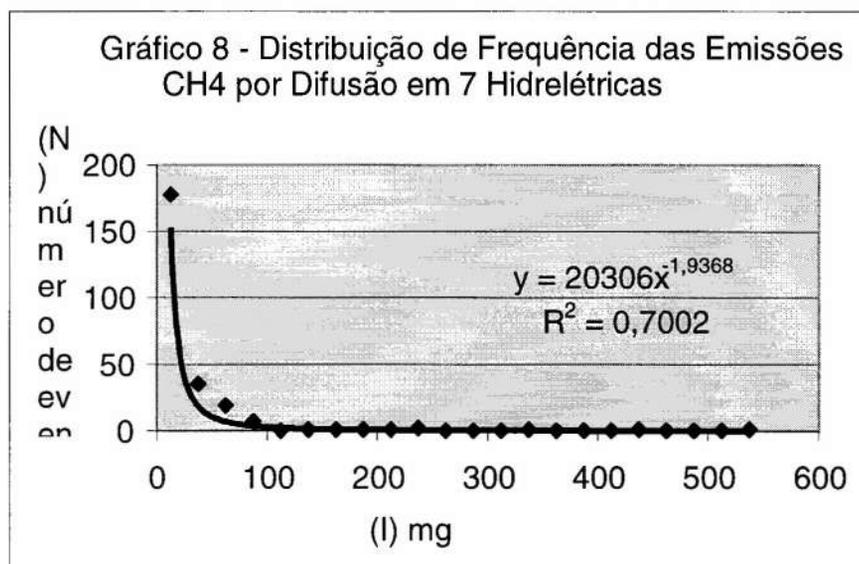
A média encontrada foi:

$$\bar{I} = \frac{2(-0,9936)}{2(-0,9936) - 1} 12,5 = 8,36 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

3) CH₄ por Difusão

I. Aproximado	Numero de Ocorrências	Faixa de Emissão
12,5	177	0-25
37,5	35	25,01-50
62,5	19	50,01-75
87,5	7	75,01-100
112,5		100,01-125
137,5	1	125,01-150
162,5	1	150,01-175
187,5	1	175,01-200
212,5	1	200,01-225
237,5	2	225,01-250
262,5		250,01-275
287,5		275,01-300
312,5		300,01-325
337,5	1	325,01-350
362,5		350,01-375
387,5		400,01-425
412,5		425,01-450
437,5	1	450,01-475
462,5		475,01-500
487,5		500,01-525
512,5		525,01-550
537,5	1	550,01-575

Da mesma forma que o anterior, as emissões de metano por difusão concentram-se em 70% dos valores medidos na faixa de 0 a 25 mg CH₄ m⁻² d⁻¹, sendo a correlação resultante do ajuste da ordem de 70%. O gráfico a seguir ilustra o comportamento da frequência das emissões medidas de metano por difusão.



$$\bar{I} = \frac{2(-1,9368)}{2(-1,9368) - 1} 12,5 = 9,93 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Restaria então somar as médias para cada tipo de gás para se obter o total da de cada gás:

- 1) CO₂ = 0,33 + 356,55 = 356,88 mg CO₂ m⁻² d⁻¹
- 2) CH₄ = 8,36 + 9,93 = 18,29 mg CH₄ m⁻² d⁻¹

A partir de então pode-se extrapolar os valores médios encontrados para cada gás para as 256 hidrelétricas do parque hidrelétrico brasileiro, aplicando estes dados a tabela fornecida pela Eletrobrás. Adotou-se o mesmo critério para aplicação dos valores médios de fluxo para cada gás, multiplicando-se a área dos reservatórios pela média encontrada neste caso. O valor total é de 14.933 t C dia⁻¹. Os cálculos estão no Apêndice D.

XI – Considerações Finais

Pelas comparações realizadas entre os reservatórios estudados, chegou-se à conclusão que há uma grande variação entre os dados, o que indicaria um cuidado maior na escolha de futuros projetos por parte do setor elétrico brasileiro.

Pela interpretação dos dados, vimos que existe uma faixa de variação bastante significativa, no que tange à eficiência das hidrelétricas em comparação com tecnologias termelétricas equivalentes.

Devido ao somatório de incertezas ao longo do estudo, há uma diferença significativa entre os resultados da extrapolação para o parque hidrelétrico brasileiro. Optou-se por oferecer duas opções de extrapolação, considerando variações inerentes a esta incerteza.

Deu-se ênfase neste trabalho à utilização dos resultados das medições ao invés de basearmos nos cálculos teóricos com base no estoque inicial de biomassa. A emissão de CH_4 pelas hidrelétricas é sempre desfavorável para a hidreletricidade, pois mesmo que o carbono origine-se de fontes naturais, ele se torna um gás de maior GWP no computo final. Já a emissão de CO_2 em parte pode ser originada da atmosfera e ser incorporada ao sistema do reservatório.

Os dados das duas campanhas não permitiram uma análise da dinâmica das emissões, devido ao baixo período de tempo disponível. A extrapolação foi feita com arbitrariedade e outros métodos poderiam resultar em valores globais bastante diferenciados, como por exemplo o emprego da média aritmética para todos os reservatórios ou o emprego de algum outro coeficiente.

Este trabalho não fez o balanço entre a biomassa afogada e o carbono emitido nem mediu as emissões de gases que ocorrem à jusante da barragem por efeito do turbilhonamento da água nas turbinas/vertedouro da usina. Tal abordagem deverá ser realizada em estudos ulteriores que pretendemos desenvolver em um futuro próximo.

Segundo estas medidas, a intensidade de emissão de gases em um reservatório varia com o tempo, porém com comportamento de flutuações com períodos de duração irregular. No entanto a variação é modulada por um conjunto de influências, as principais sendo: temperatura, intensidade dos ventos, insolação, parâmetros físico-químicos da água, composição da biomassa

Mesmo com a ordenação aproximada das taxas de emissão com a latitude se pode usar esta tendência para estimar as taxas de emissão de gases de reservatórios que não foram pesquisados, da forma como procedemos aqui nesta pesquisa

Há que se considerar as variações de emissão dos gases inter e intra reservatórios, visto que além de apresentarem resultados variados entre si, os reservatórios apresentam regimes de circulação de águas, que proporcionam condições diferenciadas de qualidade de água e geração de matéria orgânica, como por exemplo a diferença marcante entre as emissões de bolhas de metano, que são praticamente inexistentes nas regiões profundas e de grande circulação de águas nas áreas da antiga calha fluvial dos rios inundados e as regiões abrigadas dos reservatórios, com baixa quantidade de oxigênio dissolvido e alta produção de matéria orgânica, a partir da proliferação de micro algas e algas macroscópicas como foi notado em alguns reservatórios estudados.

O dióxido de carbono é mais emitido por difusão molecular em todos os reservatórios estudados, porém como este gás faz parte do ciclo natural do carbono, foram encontrados em algumas medidas uma absorção de CO₂ pelo corpo d'água do reservatório, via fotossíntese da produção primária do lago. O metano sempre é emitido, seja por bolhas ou por difusão molecular.

Em alguns reservatórios notou-se que o regime de operação também pode influir na emissão dos gases. Com a intensa geração de energia o reservatório depleciona-se de forma rápida possibilitando que os braços dendríticos rasos cujo fundo é exposto periodicamente à colonização por vegetação terrestre mostram intensa metanogênese devido ao decaimento desta vegetação após sua inundação que ocorre com a subida do nível da água. Este efeito ocorreu nos reservatórios de Tres Marias e Samuel.

Uma aferição dos métodos de análise cromatográfica, feita por Bohdan Matvienko Sikar durante a segunda série de campanhas, confirmou que a variabilidade destes é menor que 5%. Desta forma deve se concluir que as grandes variações das taxas de emissão constatadas entre os resultados da primeira e segunda séries de campanhas representam a realidade e não são artefatos do procedimento analítico. (Rosa et al, 1999)

Os reservatórios podem emitir metano devido à decomposição anaeróbica da biomassa e gás carbônico, que, em algumas circunstâncias particulares, pode ser

significativo e de uma ordem semelhante de magnitude como as emissões térmicas evitadas. Reservatórios tropicais que são rasos e não desmatados favorecem a emissão.

A principal controvérsia científica centra-se na extrapolação de emissões medidas por m^2 em partes selecionadas do reservatório para a área de reservatório inteiro. Emissões podem variar de acordo com profundidade e com a distribuição da biomassa submersa. Elas também variam por tempo, com um pico rápido que acontece logo após submersão depois da qual elas seguem a uma taxa desconhecida. Estudos em períodos de tempo longos devem ser estimulados para caracterizar a curva do comportamento das emissões.

O IPCC revisou sua estimativa de GWP de metano em quatro ocasiões separadas nos últimos 7 anos, com um mais baixo valor de 12.7 vezes o do CO_2 equivalente a um máximo de 22.9 vezes do CO_2 equivalente. O valor atual considera o metano tem um GWP 20.1 vezes o do CO_2 . Se a resposta de tempo do sistema de clima for incluída no cálculo do GWP, seu valor seria reduzido substancialmente.

Muitos habitats naturais emitem metano, especialmente pântanos e outras áreas úmidas ou habitats de florestas em climas tropicais. Quando um reservatório inunda estes habitats, qualquer emissão de metano anterior a inundação deveria ser descontada da emissão no reservatório. Também há evidência que os fluxos de carbono dentro do sistema reservatório são complexos, e carbono pode fluir para o reservatório da bacia de drenagem.

As hidrelétricas atuam de duas maneiras na geração dos gases de efeito estufa. A primeira delas é a produção do gás pela decomposição da matéria orgânica pré-existente e a que se forma durante a existência da barragem. A outra maneira é o barramento do fluxo natural do carbono dissolvidos nos rios que iria naturalmente se encaminhar para os oceanos, sendo então fossilizado. Ao criar esta barreira as hidrelétricas estariam em tese evitando esta fossilização do carbono em águas profundas.

Em termos gerais pode ser dito que o risco de emissões de gases de efeito estufa pode ser reduzido por:

- a) evitando a relação de W/m^2 baixa (i.e ao redor 0.1);
- b) clareando o reservatório da biomassa antes da inundação, porém esta medida tem que ser analisada do ponto de vista econômico.

Deste estudo também pode-se concluir que a energia hidrelétrica não é uma fonte isenta de emissões atmosféricas, tal qual se afirmava em estudos ambientais da

década de 70 e 80. O reservatório de uma hidrelétrica emite gases de origem biogênica, tais quais o CO_2 , CH_4 . Porém, este estudo comparado de emissão de gases da superfície do reservatório com as emissões de tecnologias de geração termelétrica mostra que em todos os casos analisados as hidrelétricas apresentaram resultados melhores.

XII- Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, A.A. E GOMES,L.C (1997) – Reservatório de Segredo – Bases Ecológicas para o Manejo. COPEL/EDUEM/UEM-Nupelia, 1997.
- ALVALD, P.C.; KIRCHORFF,V.W.J.H.; PAVÃO, H.G. (1998) – “O Metano na Atmosfera – Produção de Metano em Regiões de Queimadas e Áreas Alagadas” – Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, 1998.
- ASELMANN, I. AND CRUTZEN, P. (1989) – “Global Distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, their Primary Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions”. Journal of Atmospheric Chemistry. 8: 307-358.
- BARTLETT, K.B.; HARRIS, R.C. (1993) – “Review and Assessment of Methane Emission from Wetlands”, Chemosphere, 26, 261-320, 1993.
- BEN (1999) – Balanco Energético Nacional , MME, 1999.
- BODANSKI, DANIEL (1993) – “The United Nations Framework Convention on Climate Change : A Commentary” , in The Yale Journal of International Law, Summer 1993, Vol 18, n.2, 1993.
- BROWN , S. AND LUGO, AE (1984) – “Biomass of Tropical Forest, A New Estimate Based on Forest Volum”, Science, 223, 1290, 1984.
- BRUCE, LAURETTA(1990) – “A Comparasion of Emissions from Hydropower vs. Coal-Fired Power Generation in the Amazon- in Tropical Forestry Response Options to Global Climate Change” - Conference Proceedinds IPCC/EPA/USP -São Paulo, January 1990. IPCC/EPA/USP
- CARDENAS,J.D.R (1982).- Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE de Samuel - Segmento Estimativa da Fitomassa Convênio ELN/MCT/CNPq/INPA 01.07.82 DEZ.
- CARDENAS, J.D.R. ;KAHN, FRANCIS LOUIS; GUILLAUMET, J.LOUIS (1982) Estimativa da Fitomassa do Reservatório da UHE de Tucuruí- Vol.2:Limnologia, Macrofitas, Fitomassa, Degradação de Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos. INPA, Manaus (SEPLAN/CNPq/INPA) 1982.
- CARDENAS,J.D.R.(1986)- Estudos de Ecologia Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE de Samuel- Segmento Estimativa da Fitomassa, convênio ECN.MCT/CNPq/INPA- 01.07.82 -dez.1986
- DEVOL ET AL , (1988) - Journal of Geophysical Research, 95, 1583, 1988.

- DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R. (1995) – “Production of the Greenhouse Gases CH₄ and CO₂ by Hydroelectric Reservoirs of the Boreal Region”, Global Biogeochemical Cycles, n.9 (4) , 529-540, Dec 1995.
- DUCHEMIN, E.; CANUEL, R.; FERLAND, P.;LUCOTTE,M. (1999) – Étude sur la Production et l'Émission de Gaz à Effect de Serre par les Réservoirs Hydroélectriques de l'Entrepise et de Lacs Natureles (Volet 2) , Université du Quebec à Montreal, 47p. Décembre 1999.
- ELETROBRÁS (1995) - Plano 2015 - Plano Nacional de Energia Elétrica, 1993-2015, Volume 1 - Relatório Executivo, Eletrobras, 1995
- ENGERIO – Estudo de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Xingó
- FEARNSIDE, P.M. (1990) – “Deforestation in Brazilian Amazonia as Source of Greenhouse Gases”, Regional Conference on Global Warming, USP, S. Paulo, 1990.
- FEARNSIDE, P. M. (1992) - Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Developing Countries. Volume 2: Brazil. EPA/LBL Publication. Draft. LBL-32758.
- Furch, K. (1984) – “Water Chemistry of the Amazon”, in the Amazon Limnology and Landscape Ecology (ed. H.Sioli), the Hague, Junk,167,1984 .
- GALY-LACAU, C.; DELMAS, R.; KOUAIO, G.; RICHARD, S. AND GOSSE, P. (1999) – “Long Term Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs in Tropical Forest Regions”. Global Biogeochemical Cycles, v. 13, p 503-517, 1999.
- GALY LACAU, C.; DELMAS, R.; JAMBERT, C.; DUMESTRE, J.F.; LABROURE, L.; RICHARD , S. AND GOSSE, P. (1997) – “Gaseous Emissions and Oxygen Consumption in Hydroelectric Dams : A Case Study in French Guyana”, Global Biogeochemical Cycles, n.11:(4) , 471-483, dec. 1997.
- GIBBS, R.J. (1972) – “Water Chemistry of the Amazon River”, Geochim. Cosmochim. Acta, 36, pág. 1061, 1972
- HAMILTON, L.D.(1984) – “Health and Environmental Risks of Energy Systems”- Symposiun on Risks and Benefits of Energy Systems. IAEA/UNEP/WHO. Jülich 9-13 April 1984. IAEA-SM-273/51.
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M. (1995) – “Oxygen Depletion and Carbon Dioxide and Methane Production in Waters of the Pantanal Wetland of Brazil” , Biochemistry, n. 30(2) , 115-141, 1995.

- IAP (1996) – Estudos Limnológicos do Reservatório de Itaipú – Período 1990-1995, Contrato Itaipú Binacional/ Instituto Ambiental do Paraná, Relatório, set., 1996.
- IESA, (1995) – CEMIG Usina Hidrelétrica de Miranda -Projeto Executivo – Monitoramento da Cobertura do Solo e da Cobertura Vegetal – Relatório Final – Estudos Ambientais – Internacional Engenharia S A, 1996.
- IESA, (1996) – CEMIG Usina Hidrelétrica de Miranda -Projeto Executivo – Programa de Enchimento do Reservatório – Relatório Final –Estudos Ambientais – Internacional Engenharia S A, 1996.
- IPCC, (1990) – Cambio Climático – Evaluacion Cientifica del IPCC – editado por J.T Houghton ; L.G. Meira Filho; B.A.Callander; N.Harris, K. Kattemberg and K. Maskell , Traduzido por Instituto Nacional de Meteorologia, 1992.
- IPCC, (1992) - Climate Change 1992 – The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment – edited by J.T Houghton ; B.A.Callander; S.K. Varney, Cambridge University Press, 1992.
- IPCC, (1994) – Climate Change 1994 – Radiative Forcing of Climate Change and Na Evaluation of the IOPCC IS92 Emission Scenarios - edited by J.T Houghton ; B.A.Callander; S K. Varney, Cambridge University Press, 1995.
- IPCC, (1995) – Climate Change 1995 – The Science of Climate Change – edited by J.T Houghton ; L.G. Meira Filho; B.A.Callander; N.Harris, K. Kattemberg and K. Maskell, Cambridge University Press, 1996.
- ITAIPÚ (1996) – Relatório Anual – Itaipú Binacional, 1996.
- IUCC, (1995) - Beginers Guide to United Nations Framework Convention on Climate Change, Publicado pelo Escritório de Informação sobre Mudança do Clima (IUCC) do PNUMA/OMM. Impresso em fevereiro de 1995, Suíça.
- IZRAEL, YU A (1987) – “Energy Development and its Effects on the Environment”. Energy, Vol 12 no 10/11, 1987.
- JONES, J.B.; MULHOLLAND, P.J. (1998) – “Methane Input and Evasion in a Hardwood Forest Streams: Effects of Subsurface Flow Shallow and Deep Pathways”, Limnology and Oceanography, n. 43(6) , 1243-1250, Sep 1998.
- JUNK,W J (1985) - The Amazon Floodplain - A Sink or Source for Organic Carbon? Univ. Hamburg, Scope/UNEP, Heft 58, April, 1985.

- JUVILLAR, J., (1981)- Tecnologia de Transformação da Madeira em Carvão, CETEC, Belo Horizonte, 1981.
- LASHOF, D. A. AND AHUJA, D. R. (1990) – “Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming”. Nature 344, 529-531
- KLING, G.W.; KIPPOT, G.W; MILLER, M.C. (1992) – “The flux of CO₂ and CH₄ from Lakes and Rivers in Artic Alaska”. Hidrobiologia, n. 240: 1-3, 26 sep, 1992.
- MAYA, R.S. ; GUPTA, J. (1996) - Joint Implementation: Carbon Colonies or Business Opportunities? Weighing the Odds in an Information Vacuum , Southern Centre Climate Change Series No. 3, Zimbabwe, 1996.
- MCT a, (2000) – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – Pontos de Vista do Brasil sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – Coordenadoria do Clima, MCT, 2000.
- MCT b, (2000) – O CDM e o Mecanismo de Flexibilidade. Implementação Conjunta (JI)/Atividades Implementadas Conjuntamente (AIJ), Coordenadoria do Clima , MCT, 2000.
- MCT/MRE (1996) - Convenção sobre Mudança do Clima , editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e Ministério das Relações Exteriores/Brasil, publicado pela unidade de Informações sobre Mudança do Clima (IUC/PNUMA), 1996.
- OECD, (1991) - Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks - OECD Expert Meeting , Bacground Report, 1991.
- PEARSE, FRED (1987) – “Acid Rain”. New Scientist. 5 ,November 1987.
- PER BAK (1995) – How Nature Works – The Science of Self Organized Criticlity, University of Oxford Press, 1995.
- PHELPS, A.R ; PETERSON, K.M.; JEFFRIES, M.O (1998) – “Methane Efflux from High-Latitude Lakes During Ice Melt” – Journal of Geophysical Research – Atmosphere, n. 3:(22) , 29029-29036, nov. 1998.
- RICHEY, J.E. (1982) - The Amazon River System: A Biogeochemical Model in "Transport of Carbon and Mineral in Major World Rivers, ed E.T. Degens, Univ. Hamburg, UNEP,365, 1982.
- ROSA, L.P. AND R. SCHAEFFER (1994) - 'Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs', Ambio, Vol 23, No 2, March 1994, pp 164-165.

- ROSA, L.P. E SCHAEFFER, R. (1993) – Global Warming Potentials: the Case of Emissions from Dams. Energy Policy 23: 149-158, 1995.
- ROSA, L. P. AND SCHAEFFER, R. (1993) - Generalization of the Global Warming Potential Index: the Case of Methane Emissions from Dams. Energy Planning Program. Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Unpublished manuscript.
- ROSA, L.P. , SCHAEFFER, R. e SANTOS, M.A. (1996) – Are Hydroelectric Dams in Brazilian Amazon Significant Sources of Greenhouse Gases? Environmental Conservation 23: 2-6 , 1996.
- ROSA , LUIS PINGUELLI ; MATVIENKO, BOHDAM; SANTOS, MARCO AURÉLIO AND SIKAR, ELISABETH (1999) – Inventário das Emissões de Gases de Efeito estufa Derivadas de Hidrelétricas , Relatório Eletrobrás/Fundação Coppetec, 1999.
- ROSA, L.P. (2000) – “Sustainability and Equity in Climate Convention” – Presented in the IPCC Expert Meeting on Development, Equity and Sustainability, Havana, Fevereiro de 2000.
- Rosa, L.P. and R. Schaeffer (1994) - 'Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs', Ambio, Vol 23, No 2, March 1994, pp 164-165.
-
- ROSA , L.P. ; RIBEIRO, S.K., 1990 - Implication of the Greenhouse Effect on Energy Planning : The Brazilian Case , Genebra, Suíça, 1990.
- ROSA, LUIS PINGUELLI; SCHAEFFER, ROBERTO; SANTOS, MARCO AURÉLIO (1996) – “Emissões de Metano e Dióxido de Carbono de Hidrelétricas Comparadas às Termelétricas Equivalentes”, in Diagnóstico Ambiental e Energético das Hidrelétricas na Amazônia, vol. 1, cadernos de Energia - março de 1996 - edição especial , ENERGE, Rio de Janeiro, 1996
- ROSA, LUIS PINGUELLI; SIKAR, BOHDAN MATVIENKO; SIKAR, ELISABETH MATVIENKO; SANTOS, MARCO AURÉLIO (1997) – “A Model for CH₄ and CO₂ Emission Mean Life in Reservoir Based on Data from an Amazonian Hydroplant” - in Hydropower Plants and greenhouse Gas Emissions, Luis Pinguelli Rosa and Marco Aurélio dos Santos, editors, COPPE,1997
- ROSA, L. P; LEGEY, L. F.; ROVERE, E. L.; RIBEIRO, S.; TOLMASQUIN, M. T.; SANTOS, M. A.; CECHI, J. (1991) - Consequência da Queima de Combustíveis

Fósseis e Queimadas para o Efeito Estufa. Projeto PPE/COPPE/UFRJ e IBAMA, 1991.

- RESENDE, G. C. (1981) – “Implantação e Produtividade de Florestas para fins Energéticos”, in Gaseificação da Madeira e Carvão Vegetal, CETEC, MG, 1981.
- SELLERS, P.; HESSLEIN, R.H. AND KELLY, C.A. (1995) – “Continuous Measurement of CO₂ for Estimation of Air-Water Fluxes in Lakes: An In Situ Technique”, Limnology and Oceanography, n. 40 (3), 577-581, 1995.
- SHALARD, R. (1980) - Doct. Thesis, Woods Hole Oceanogra. Inst., Massachusetts, 1980.
- SIOLI, H. (1967) – “Studies in Amazonian Waters”, Simpósio sobre Biota Amazônica, 3 pág. 9, 1967
- SIKAR, BOHDAN MATVIENKO - informação oral
- STRIEGL, R.G.; MICHMERHVIZEN, C.M. (1998) – Hydrologic Influence on Methane and Carbon Dioxide Dynamics at Two North-Central Minnesota Lakes, Limnology and Oceanography, n.43:, 1998.
- UNEP, (1997) - Climate Change - Information Kit , United Nations Environment Programme’s Information Unit for Conventions, January, 1997.
- UNITED NATIONS (1986) - Economic Commission for Europe. Air Pollution Studies N. 3 - Transboundary Air Pollution. Effects and Control. U.N. - New York. 1986
- UNITED NATIONS (1986)A -Economic and Social Council- Effects of Environmental Measures on the Construction and Operation of Power Plants. 1986
- UNITED NATIONS (1995) - Climate Change Bulletin, Issue 9, 4th Quarter 1995, Published by Secretariat of the UN Framework Convention on Climate Change, Genebra, Suíça, 1995
- UNITED NATIONS (1996A) - Climate Change Bulletin, Issue 12, 3rd Quarter 1996, Published by Secretariat of the UN Framework Convention on Climate Change, Genebra, Suíça, 1996
- UNITED NATIONS , (1996 B) - Review of the Implementation of the Convention and of Decisions of the First Session of the Conference of the Parties - Activities Implemented Jointly: Annual Review of Progress Under the Pilot Phase , FCCC/CP/1996/14, 4 June 1996

- UNITED NATIONS (1997) - Climate Change Bulletin , Issue 14, 2nd Quarter 1997, Published by Secretariat of the UN Framework Convention on Climate Change, 1997
- UTSUMI, M.; NOJIRI, Y.; NAKAMURA, T.; NOZAWA, T.; OTSUKI, A . ; TAKAMURA, N. ; WATANABE, M. ; SEKI, H. (1998) – “Dynamics of Dissolved Methane and Methane Oxidation in Dimict Lake Nojiri During Winter”, Limnology and Oceanography, 43(1), 10-17, 1998.
- VOSS ET ALLII (1987) - “Cost-Optimal Emission Control Strategies”. Presented at UNDP- World Bank Seminar on Energy Planning. Viena . Austria. June 1987.
- WATSON, R.; RODHE, H. , (1990) - Greenhouse Gases and Aerosols - PEER Reviwed Assessment for WG1 - IPCC, April, 1990

APÊNDICE

APÊNDICE A - A Metodologia de Medição e Análise das Emissões de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios de Hidrelétricas

A.1 - Método de Amostragem dos Gases

A.1.1 - Amostragem dos Gases por Funis

As amostras foram coletadas empregando-se um conjunto de 16 funis coletores de bolhas (cones de napa sintética, com armação de alumínio, diâmetro de 70 cm e acoplados a garrafas coletoras de gases). (Foto A1)

Foto A1 – Funil Coletor de Bolhas Acoplado a Garrafa Coletora de Gases

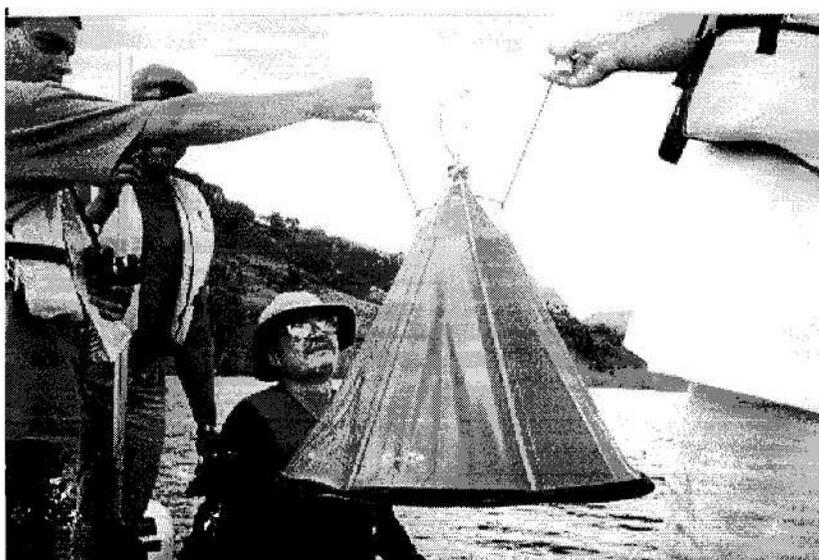


foto M.A.Santos

Na maioria dos casos, os funis eram colocados em um “transect”, partindo de regiões mais rasas até locais mais profundos. Nas regiões mais rasas, eram colocados cerca de 5 funis, diminuindo este número na medida em que se caminhava para áreas mais profundas.¹

Os funis eram submersos e totalmente desaerados para evitar contaminação pelo ar atmosférico presente. Após este processo, as garrafas coletoras, cheias de água eram acopladas ao funil.(Foto A2)

¹ Pela experiência acumulada nas amostragens de gases com funis admite-se que há uma correlação inversa forte entre profundidade e emissão de gases por bolhas. Desta forma, incluíamos um número maior de funis nas regiões mais rasas, que desprendem mais gás.

Foto A2 – Grupo de Funis Colocados em Uma Região Rasa do Reservatório de Miranda



foto M.ASantos

A escolha do sítio de amostragem e a seqüência dos funis foram determinadas por parâmetros como. densidade da vegetação alagada, tempo de enchimento do local (cota do reservatório), profundidade, presença de vegetação semi-afogada, região geográfica do reservatório.

Consideramos ainda como variável de decisão o tempo de deslocamento de barco até o local da amostragem, bem como sua representatividade para o reservatório como um todo.

Os funis permaneciam por 24 horas no local, onde durante este período as bolhas que emanavam do fundo eram capturadas e as garrafas coletoras eram então fechadas hermeticamente dentro da água e recolhidas para posterior análise em laboratório.

A.1.2 - Amostragem dos Gases por Câmaras de Difusão

A.1.2.1 - O Processo de Troca Difusiva de Gás Medido por Meio de Câmaras

Na interface água / atmosfera se processa continuamente uma troca de gás. Os gases dissolvidos na água emanam para o ar e os componentes do ar se dissolvem na água. Neste processo um equilíbrio dinâmico tende a se estabelecer e ele é de fato alcançado para um certo gás quando sua taxa de emissão fica igual a sua taxa de dissolução.

Processos difusivos relevantes neste trabalho são facilmente representáveis se a concentração de cada gás for expressa em termos de pressão parcial. Na fase gasosa a pressão parcial de cada componente é a fração da pressão total que é devida a este componente.

A média mundial da concentração de gás carbônico no ar é de 360 ppm em volume que corresponde a uma pressão parcial de 0,036 KPa; a do metano é de 1,8 ppm. Água com pressões parciais superiores emanará estes gases para a atmosfera. Por exemplo, se encontram em reservatórios tipicamente tensões parciais de CO₂ dissolvido na água entre 0,05 e 0,15 KPa, valores estes correspondendo a concentrações atmosféricas de 500 a 1500 ppm de CO₂ em volume.

A.1.2.2 - Procedimento da Medida de Taxas de Emissão

O equipamento original era proposto para medir troca gasosa na interface água-ar. Para isto era utilizada uma câmara de acrílico transparente, melhor descrita como uma caixa sem tampa, usada em posição “invertida” tocando a superfície da água de modo a aprisionar um certo volume de ar. Periodicamente eram retiradas amostras do volume e analisadas por cromatografia.

Se houvesse emissão de, digamos, gás carbônico, a concentração do gás no volume da câmara cresceria com o tempo, o gráfico concentração vs tempo permitindo o cálculo da taxa de emissão. Dificuldades com estas câmaras são: aquecimento do volume gasoso pela radiação solar, dificuldade de manuseio na presença de ondas, susceptibilidade a ocasional captura de bolha, longa duração dos experimentos (horas) devido ao grande volume em comparação à área (grande espessura de camada gasosa, ~ 20 cm).

As modificações introduzidas foram:

- Miniaturização da câmara, diminuindo o volume de tipicamente 20 L para 40 mL o que baixou a espessura de camada gasosa para 2 cm, possibilitando a redução do tempo para 10 minutos.
- Utilização simultânea de duas câmaras idênticas para tempos de troca de 5 min e 10 min, fugindo com isto do possível efeito da diminuição do volume resultante da amostragem repetida em câmara única.
- Uso da câmara miniaturizada na posição ligeiramente submersa obtendo-se com isto imunidade à ação das ondas e termostatização.

A.1.2.3 - Princípio de Medição das Taxas de Troca

O uso das câmaras visa obter dados que permitam calcular as taxas de troca de gás carbônico ou de metano. O volume de 50 mL do ar introduzido em cada câmara tem uma superfície de contato com a água de 22 cm², como se a câmara fosse um copo “invertido”, mantido sobre 22 cm² da superfície natural mas com a diferença da câmara estar submersa. Os mesmos processos de troca gasosa que se passam na superfície natural se iniciam também na superfície de 22 cm² da câmara submersa.

A seguir temos uma foto com a câmara de difusão (Foto A3)

Foto A3 – Câmara de Difusão para Medição de Gases

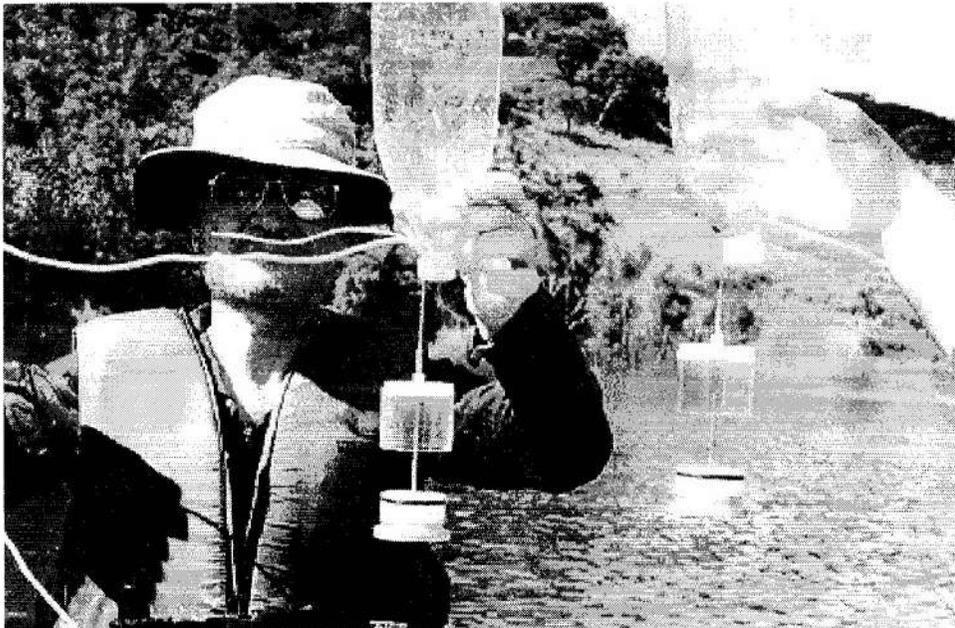


foto M.A Santos

Em uma experiência típica de equilíbrio se ia de barco ao lugar a ser amostrado e com o barco ancorado em lugar de profundidade desejada se executava o experimento de equilíbrio. Para isto primeiro era tomado um volume de ~500 mL de ar, aspirando-o com a bomba de pistão provida de tubo de transferência. Este ar era tomado a cerca de 10 cm acima do nível da água. Cerca de 35 mL dele eram então transferidos para um gasômetro, para posterior determinação das concentrações dos gases investigados.

As câmaras eram abastecidas com os 50 mL de ar da seguinte maneira: o tubo de transferência da bomba era ligado à válvula da câmara e a câmara era submersa e preenchida com água, ficando então pendendo de sua bóia. Eram então transferidos os 50 mL de ar da bomba, provocando expulsão de volume igual de água de seu interior. O tempo do início da equilíbrio era então notado, a válvula da câmara era fechada e o tubo de transferência desligado. Assim o conjunto câmara-boia passava a flutuar quase livremente, agitada pela ondulação. Um cordão amarrado à boia da câmara mantinha-a ao alcance.

Terminado o tempo de equilíbrio, por exemplo 3 minutos, a câmara era fechada ainda de baixo da água o que era possível devido a um pistão que cada câmara possuía e que além de fechá-la servia ainda para depois expulsar o ar. Isto era feito após ligá-la a um gasômetro por tubo de transferência e com manipulação apropriada de sua válvula e de seu pistão. Assim, em três experimentos de equilíbrio, eram obtidas três amostras de ar que passou por equilíbrios de 3, 6, e 12 minutos.

No reservatório de Xingó, por exemplo, em um dos experimentos foram obtidas três amostras marcadas 9C3, 9C6, 9C12. Os respectivos resultados da análise, junto com o da amostra 9C0 inicial, não equilibrada, são mostrados listando a concentração y de CO₂ em função do tempo t de equilíbrio.

	t	y
9C0	0 min	411,5 ppm CO ₂
9C3	3	603,5
9C6	6	749,5
9C12	12	945,8

A função $y(t)$ que representa a concentração de CO_2 , em ppm, na câmara após t minutos de equilíbrio pode ser descrita por uma função exponencial da forma

$$y = C + A \exp(-k t)$$

Esta forma é o resultado teórico decorrente de uma suposição, qual seja que a taxa de troca de gás dy / dt , entre a água do reservatório e o ar da câmara, seja proporcional à diferença das concentrações C na água e y no ar da câmara (Rosa et al., 1999). Simbolicamente

$$dy/dt = k (C - y)$$

onde k é a constante de proporcionalidade. Através de integração se obtém a função dada acima, ou seja $y = C + A \exp(-kt)$, onde A é constante arbitrária de integração.

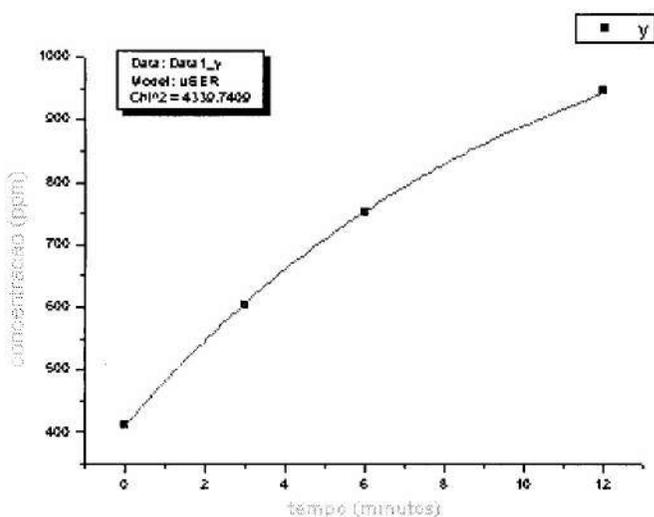


Gráfico.1 - Pontos experimentais da concentração y nas câmaras de difusão, em função do tempo de equilíbrio. A curva sólida (cor) foi ajustada estatisticamente aos quatro pontos experimentais, sendo ela $y = 1171,87 - 762,54 \exp(-0,09972 t)$.

Se os valores de $y(t)$ forem graficados para as amostras 9C0 – 9C12 em função do tempo de equilíbrio, nota-se que existe um efeito de saturação: com o correr do tempo a concentração de gás carbônico dentro da câmara se aproxima assintoticamente do valor C que é a concentração deste gás dissolvido na água, neste exemplo 1171,87 ppm; a saturação acontece porque o volume contido na câmara é pequeno comparado à área da superfície de troca.

$$y = C + A \exp(-kt)$$

Tomando sua derivada temporal resulta:

$$dy/dt = -A k \exp(-kt)$$

Esta derivada representa a variação T da concentração y dentro dos 50 mL do volume da câmara, com o avanço do tempo, que no caso do exemplo foi um crescimento. Esta derivada pode ser calculada para qualquer instante t, inclusive para o instante inicial, usando para a variável t o valor apropriado. No instante inicial t = 0. Substituindo este valor se obtém:

$$(dy/dt)_{t=0} = -A k.$$

ou seja, $T = -A k.$

Usando os valores das constantes A = -762,54 e k = 0,09972 achados pelos ajustes estatísticos se obtém

$$T = 76,04 \text{ (ppm min}^{-1}\text{)}$$

que é a taxa segundo a qual a concentração de CO₂ cresce dentro da câmara no primeiro instante da equilibração.

A taxa T que descreve o aumento temporal da concentração dentro da câmara pode ser transformada na taxa Q que mede quanta massa de CO₂ atravessa por minuto ou por dia a interface de contato de 22 cm² entre a água e o ar da câmara. Como é feita esta transformação é mostrado na “fração explicada” seguinte:

$$Q(\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = \frac{T(\text{ppm min}^{-1}) \cdot 10^{-6} (\text{ppm}^{-1}) \cdot 50(\text{mL}) \cdot 1440(\text{min d}^{-1}) \cdot 44(\text{mg CO}_2 \text{ mmol}^{-1})}{22 \cdot 10^{-4} (\text{m}^2) \cdot 25,11(\text{mL mmol}^{-1})}$$

ou

$$Q = 57,35 T \text{ (mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{)}$$

Da fração constam: o volume de ar da câmara, que é de 50 (mL), o fator 1440 (min d^{-1}) que converte min^{-1} para d^{-1} , a massa molar do CO_2 que é 44 ($\text{mg CO}_2\text{mmol}^{-1}$), a área da câmara de 22.10^{-4} (m^2), e o volume molar de um gás ideal que em Xingó na ocasião dos experimentos era de 22,11 (mL mmol^{-1}). Observe-se que as dimensões que constam da fração se simplificam resultando $\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$.

Em resumo, para as experiências de equilibração em Xingó a taxa Q ($\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) se obtém da taxa T (ppm min^{-1}), multiplicando T pelo fator 57,35.

Para o exemplo aqui usado resulta:

$$Q = 4361 \text{ mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$$

valor este derivado das amostras 9C0-9C12 constitui emissão de CO_2 . O desvio s associado a este valor foi de $s = 0,56\%$.

A taxa T , que é idêntica a dy/dt , por sua vez é obtida usando os quatro pares de dados experimentais de equilibração, ajustando a eles a função $y(t)$ e calculando dy/dt no instante de $t=0$.

Adicionamos aqui mais considerações sobre os resultados obtidos com o uso das câmaras de equilibração. A hipótese de que a velocidade de troca gasosa entre a água e o ar contido na câmara seja proporcional à diferença das respectivas concentrações e que resulta na forma da função que descreve a equilibração, ficou plenamente justificada no decurso deste trabalho. A concentração de CO_2 (ou metano) no instante inicial dentro da câmara é idêntica à concentração no ar ambiente e sendo assim é interessante examinar o efeito do vento que afeta a concentração no ar.

Se há constante emanação de gás da água para a atmosfera, na ausência de vento, se estabelecerá sobre a água uma camada de concentração elevada de, digamos, CO_2 e este se difundiria através do ar para as grandes altitudes onde prevalece a pressão parcial média mundial. A turbulência estabelecida pelo vento tem dois efeitos. São trazidos “pulsos” de ar com concentração menor, seja vindo das margens seja das alturas, e fica sobreposto à difusão uma segunda rota de fuga do CO_2 do lago, que é a convecção.

Assim, na presença de vento, se estabelece uma flutuação na concentração do CO₂ no ar atmosférico que se constata quando trazido ao laboratório como amostra do “instante inicial”. Tal flutuação descreve a contínua variabilidade das condições de troca gasosa entre água e o ar e não conduz a erro e sim a uma avaliação mais realista da situação.

Dentro da água existe um sumidouro para o CO₂ dissolvido que é o fitoplâncton com sua fotossíntese. A fotossíntese converte CO₂ em compostos orgânicos a uma taxa de, tipicamente, 100-300 mg C m⁻² d⁻¹ tomando taxas encontradas na represa do Broa como exemplo. Mas concomitantemente com a fotossíntese a respiração e a metanogênese libera CO₂ ao longo da cadeia alimentar. Dependendo das atividades relativas entre fotossíntese e cadeia alimentar pode haver emissão ou absorção de CO₂ atmosférico.

Durante a noite a fotossíntese pára devido à falta de luz, mas a respiração e metanogênese continuam. Por esta razão devem ser investigadas não apenas as taxas diurnas de troca difusiva de CO₂ mas também as noturnas. Pela mesma razão pode se esperar variações de taxas difusivas em função da intensidade de iluminação, as condições podendo ser de sol intenso, nublado, nuvens carregadas etc.

Na prática foram feitas medidas de difusão a cada 8 horas aproximadamente, com uma delas em torno de zero horas. Em retrospecto esta frequência se afigura como um mínimo ainda adequado. Experimentamos maior frequência porém a carga adicional que reduzia as horas de sono não era sustentável pela equipe.

Contracenando com estes fatores citados que tendem a introduzir flutuações aparentando aleatoriedade, vem o conteúdo de CO₂ dissolvido na água a agir em direção da estabilização. A água é um reservatório de CO₂ dissolvido. Em água relativamente rasa de, digamos 30 m de profundidade, com a concentração de ~500 mol CO₂ m⁻³, há ~1500 mol CO₂ m⁻², que é da ordem de grandeza que a produção primária consegue consumir em um dia. Já na coluna da atmosfera a 360 ppm CO₂ existem ~1000 mol CO₂ m⁻². Os dois valores são da mesma ordem de grandeza: a massa total de CO₂ residente na atmosfera e a massa total dissolvida na água rasa que se contracenam em cada metro quadrado de interface de contato. Assim não se deve esperar que um destes dois reservatórios domine sobre o outro impondo uma rígida constância de concentrações mas se deve esperar flutuações moderadas sem mudanças drásticas da concentração de CO₂ no decurso de um dia, e possivelmente em períodos mais longos, pois tanto a fotossíntese como a troca gasosa estão sempre presentes, mesmo sendo com

intensidade pulsante, e a troca gasosa não conseguiria alterar as concentrações rapidamente, pois seu efeito seria moderado pelos lastros dos dois reservatórios.

Sob o ponto de vista do confronto de dois reservatórios, pode se idealizar um método adicional para quantificar a taxa de troca gasosa através da interface: se for medida a concentração de um gás na água e no ar perto da interface e se forem simultaneamente avaliadas as condições de vento é de se esperar que haja boa correlação do conjunto destes parâmetros com a taxa de troca. Tal procedimento, por ser mais simples, permitiria aumentar o número de sítios amostrados, dentro dos recursos disponíveis.

A.2 - Método de Análise das Amostras

As baixas concentrações de metano foram analisadas por detetor de ionização de chama na saída de uma coluna de polímero poroso (hayesep D). Concentrações de O₂, N₂ e CH₄ foram analisadas por detetor de condutividade térmica com uma coluna de tamiz molecular 5A. Gás carbônico foi analisado pelo mesmo detetor com a coluna hayesep D. Os gases utilizados foram: ar sintético SS, hidrogênio UP e nitrogênio AP adquiridos da Aga.

No laboratório cromatográfico, instalado em um dos alojamentos próximos à represa, foram feitas 800 análises cromatográficas de amostras de gás ou gás em água trazidas da represa. (Foto a4)

Foto A4 - Laboratório de cromatografia Gasosa Montado na UHE de Segredo

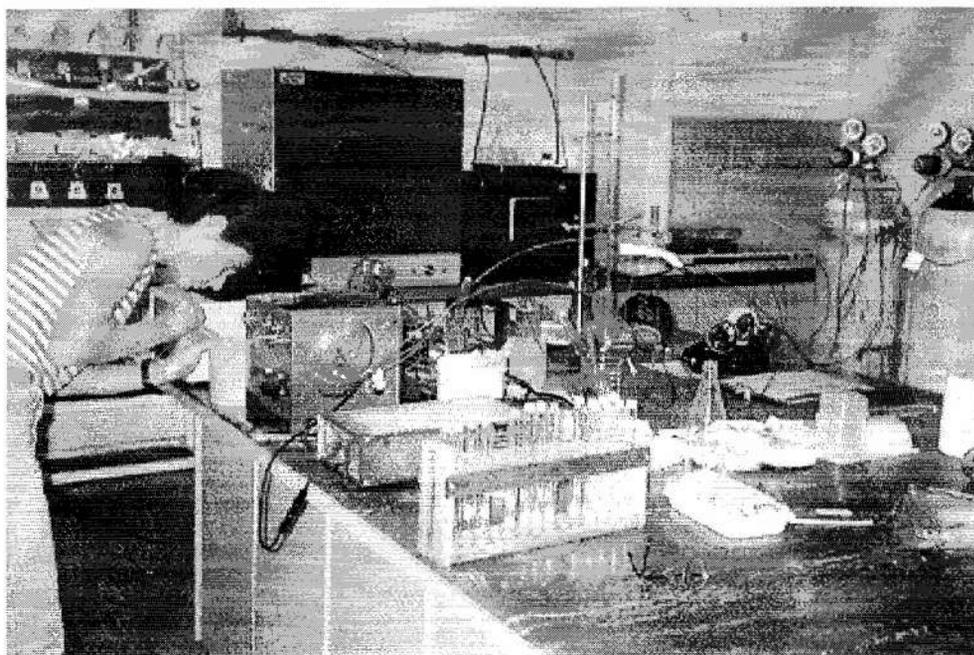


Foto (M.A.Santos)

O cromatógrafo com detetor de condutividade térmica é o modelo U-13 da Construmaq São Carlos. O de ionização de chama usa um eletrômetro Gow-Mac processando sinal provindo de detetor adaptado ao mesmo cromatógrafo.

Os dois tipos de detetores fornecem áreas dos picos cromatográficos relativos

aos gases analisados. Estes foram CH₄, CO₂, N₂ e O₂.

PADRONIZAÇÃO

A sensibilidade a cada um dos gases foi determinada através de um procedimento de padronização repetido diariamente. Para o metano foi primeiro produzido um padrão concentrado através da reação



Esta é efetuada misturando-se massas aproximadamente iguais de acetato de sódio e de hidróxido de sódio, ambas na forma seca, e introduzindo a mistura (~ 10 g) em tubo reator. Este é fechado com rolha provida de tubo de transferência. Aquecendo-se a mistura acima de 270⁰C a reação se inicia havendo vigoroso desprendimento de metano. Despreza-se o gás gerado durante alguns minutos para que seja purgado o ar inicialmente contido no reator. Em seguida se recolhe o metano em gasômetro, ele servirá de padrão. Mas primeiro sua pureza é estabelecida analisando-o cromatograficamente.

As impurezas contidas no padrão são oxigênio e nitrogênio do ar. Purezas típicas acima de 98% são obtidas. Levando em conta a pureza, é produzido um padrão com 10 ppm de metano, diluindo o padrão concentrado usando como diluente hidrogênio cromatográfico.

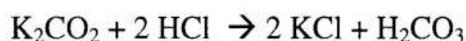
A finalidade do padrão diluído, contendo 10 ppm de metano, é estabelecer a sensibilidade do cromatógrafo. Para estabelecê-la 1 ml deste padrão é injetado no cromatógrafo com detetor de ionização de chama e se obtém a área correspondente, por exemplo 20000 u. a. (unidades de área). O fator q de sensibilidade se obtém dividindo a concentração (10 ppm) pela área (20000 u. a.). Resulta neste caso 5.10⁻⁴ ppm (u. a.)⁻¹.

Ao analisar amostras provenientes de câmaras de difusão se injeta também 1 ml e se usa a área A correspondente ao pico de metano, por exemplo A=3000 u. a., para calcular a concentração C na amostra que será

$$\begin{aligned} C &= q \cdot A \\ &= 5 \cdot 10^{-4} \cdot 3000 \\ &= 1,5 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Este procedimento é equivalente à comparação da amostra com o padrão de 10 ppm.

O procedimento de padronização do CO₂ é análogo. As reações de produção são:



A reação é efetuada em solução aquosa, usando soluções de carbonato de potássio e de ácido clorídrico: Em gasometro inicialmente cheio de solução de ácido clorídrico é injetada mediante seringa solução concentrada de carbonato de potássio. A reação é extremamente rápida, mesmo em temperatura ambiente, e o gasometro fica preenchido com gás carbônico. O gás obtido é analisado cromatograficamente.

Purezas típicas acima de 97% são obtidas, as impurezas sendo N₂ e O₂ do ar. Levando em conta a pureza se prepara um padrão diluído contendo 1000 ppm CO₂ para com este se obter a sensibilidade do cromatógrafo ao gás carbônico, em analogia com que é feito para o metano.

Se for levantada a questão de como é possível usar um cromatógrafo para a padronização antes de sua sensibilidade ter sido estabelecida, a resposta é esta. As impurezas são os componentes do ar sendo a composição do ar muito constante com 78% N₂, 21% O₂ e 0,9% Argônio. A resposta é: em corrida preliminar se usa o ar ambiental como padrão e se estabelece a sensibilidade para o nitrogênio e o oxigênio que então permite determinar que quantidade destes gases há no padrão concentrado, estabelecendo assim sua pureza.

APÊNDICE B – Cálculos da Emissão de Carbono Evitada

Tabela B1 - Hidrelétrica de Miranda - Baseado na Energia Anual Gerada 1.708.200 MWh/ano				
Cálculo de Emissão de Carbono por Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia em 100 anos				
Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano	
390	0,5	8.760	1.708.200	
$\alpha = E \cdot c \cdot T / ef$	Óleo Combustível			
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)
1.708.200	0,24	100	0,35	117.133.714,29
	Carvão vapor			
E	c	T	ef	
1.708.200	0,30	100	0,35	146.417.142,86
	Gás Natural			
E	c	T	ef	
1.708.200	0,12	100	0,45	45.552.000,00
	Óleo Diesel			
E	c	T	ef	
1.708.200	0,24	100	0,3	136.656.000,00 óleo diesel
Cálculo da Emissão Evitada de Carbono				
$e = \alpha - G \cdot \eta - \gamma$				
Emissão de CO2 (termoelétrica)	G (GWP 100 anos)	Emissão de CH4 (Hidrelétrica)	Emissão de CO2 (Hidrelétrica)	e
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos	
117.133.714,29	8,9	213.247,69	2.209.762,75	113.026.047,08
146.417.142,86	8,9	213.247,69	2.209.762,75	142.309.475,65
45.552.000,00	8,9	213.247,69	2.209.762,75	41.444.332,80
136.656.000,00	8,9	213.247,69	2.209.762,75	132.548.332,80
				óleo (ciclo simples) carvão (ciclo simples) gas (ciclo combinado) diesel (ciclo simples)
Cálculo do Mérito (RI)				
Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI		
117.133.714,29	4.107.667,20	28,52		óleo combustível (ciclo simples)
146.417.142,86	4.107.667,20	35,64		carvão mineral (ciclo simples)
45.552.000,00	4.107.667,20	11,09		gás natural (ciclo combinado)
136.656.000,00	4.107.667,20	33,27		óleo diesel (ciclo simples)

Tabela B2 - Hidrelétrica de Barra Bonita - Baseado na Energia Anual Gerada 616.704

MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano		
140,8	0,5	8.760	616.704		
$\alpha = E c T/ef$	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)	
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)	100	0,35	42.288.274,29	
616.704	0,24				
	Carvão vapor	T	ef		
E	c	100	0,35	52.860.342,86	
616.704	0,30				
	Gás Natural	T	ef		
E	c	100	0,45	16.445.440,00	
616.704	0,12				
	Óleo Diesel	T	ef		
E	c	100	0,3	49.336.320,00 óleo diesel	
616.704	0,24				

Cálculo da Emissão Evitada de Carbono

$$e = \alpha - G \eta - \gamma$$

Emissão de CO2 (termoelétrica)	G (GWP 100 anos)	Emissão de CH4 (Hidrelétrica)	Emissão de CO2 (Hidrelétrica)	e	
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos		
42.288.274,29	8,9	98.742,72	10.329.877,80	31.079.586,28	óleo (ciclo simples)
52.860.342,86	8,9	98.742,72	10.329.877,80	41.651.654,85	carvão (ciclo simples)
16.445.440,00	8,9	98.742,72	10.329.877,80	5.236.751,99	gas (ciclo combinado)
49.336.320,00	8,9	98.742,72	10.329.877,80	38.127.631,99	diesel (ciclo simples)

Cálculo do Mérito (RI)

Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI	
42.288.274,29	11.208.688,01	3,77	óleo combustível (ciclo simples)
52.860.342,86	11.208.688,01	4,72	carvão mineral (ciclo simples)
16.445.440,00	11.208.688,01	1,47	gás natural (ciclo combinado)
49.336.320,00	11.208.688,01	4,40	óleo diesel (ciclo simples)

Tabela B3 - Hidrelétrica de Segredo - Baseado na Energia Anual Gerada

5.588.800 MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano	
1.260	0,5	8.760	5.518.800	
alfa = E c T/ef	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)			
5.518.800	0,24	100	0,35	378.432.000,00
	Carvão vapor			
E	c	T	ef	
5.518.800	0,30	100	0,35	473.040.000,00
	Gás Natural			
E	c	T	ef	
5.518.800	0,12	100	0,45	147.168.000,00
	Óleo Diesel			
E	c	T	ef	
5.518.800	0,24	100	0,3	441.504.000,00 óleo diesel

Cálculo da Emissão Evitada de Carbono

$$e = \alpha - G \eta - \gamma$$

Emissão de CO2	G	Emissão de CH4	Emissão de CO2	e	
(termoelétrica)	(GWP 100 anos)	(Hidrelétrica)	(Hidrelétrica)		
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos		
378.432.000,00	8,9	16.962,65	2.105.716,30	376.175.316,16	óleo (ciclo simples)
473040.000,00	8,9	16.962,65	2.105.716,30	470.783.316,16	carvão (ciclo simples)
147.168.000,00	8,9	16.962,65	2.105.716,30	144.911.316,16	gas (ciclo combinado)
441.504.000,00	8,9	16.962,65	2.105.716,30	439.247.316,16	diesel (ciclo simples)

Cálculo do Mérito (RI)

Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI	
378.432.000,00	2.256.683,84	167,69	óleo combustível (ciclo simples)
473.040.000,00	2.256.683,84	209,62	carvão mineral (ciclo simples)
147.168.000,00	2.256.683,84	65,21	gás natural (ciclo combinado)
441.504.000,00	2.256.683,84	195,64	óleo diesel (ciclo simples)

Tabela 17 - Hidrelétrica de Xingó - Baseado na Energia Anual Gerada

13.140.000 MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano		
3.000	0,5	8.760	13.140.000		
$\alpha = E \cdot c \cdot T / ef$	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	Alfa (tC)	
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)				
13.140.000	0,24	100	0,35	901.028.571,43	
	Carvão vapor				
E	c	T	ef		
13.140.000	0,30	100	0,35	1.126.285.714,29	
	Gás Natural				
E	c	T	ef		
13.140.000	0,12	100	0,45	350.400.000,00	
	Óleo Diesel				
E	c	T	ef		
13.140.000	0,24	100	0,3	1.051.200.000,00 óleo diesel	

Cálculo da Emissão Evitada de Carbono

$$e = \alpha - G \cdot \eta - \gamma$$

Emissão de CO2 (termoelétrica)	G (GWP 100 anos)	Emissão de CH4 (Hidrelétrica)	Emissão de CO2 (Hidrelétrica)	e	
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos		
901.028.571,43	8,9	56.719,63	3.506.264,40	897.017.502,31	óleo (ciclo simples)
1.126.285.714,29	8,9	56.719,63	3.506.264,40	1.122.274.645,17	carvão (ciclo simples)
350.400.000,00	8,9	56.719,63	3.506.264,40	346.388.930,88	gas (ciclo combinado)
1.051.200.000,00	8,9	56.719,63	3.506.264,40	1.047.188.930,88	diesel (ciclo simples)

Cálculo do Mérito (RI)

Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI	
901.028.571,43	4.011.069,12	224,64	óleo combustível (ciclo simples)
1.126.285.714,29	4.011.069,12	280,79	carvão mineral (ciclo simples)
350.400.000,00	4.011.069,12	87,36	gás natural (ciclo combinado)
1.051.200.000,00	4.011.069,12	262,07	óleo diesel (ciclo simples)

Tabela B5 - Hidrelétrica de Samuel - Baseado na Energia Anual Gerada

946.080 MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano		
216	0,5	8.760	946.080		
$\alpha = E c T/ef$	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)	
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)				
946.080	0,24	100	0,35	64.874.057,14	
	Carvão vapor				
E	c	T	ef		
946.080	0,30	100	0,35	81.092.571,43	
	Gás Natural				
E	c	T	ef		
946.080	0,12	100	0,45	25.228.800,00	
	Óleo Diesel				
E	c	T	ef		
946.080	0,24	100	0,3	75.686.400,00	óleo diesel

Cálculo da Emissão Evitada de Carbono

$$e = \alpha - G \eta - \gamma$$

Emissão de CO2 (termoelétrica) t C/ 100 anos	G (GWP 100 anos)	Emissão de CH4 (Hidrelétrica) t C/100 anos	Emissão de CO2 (Hidrelétrica) t C/100 anos	e	
64.874.057,14	8,9	1.421.680,11	23.848.218,08	28.372.886,09	óleo (ciclo simples)
81.092.571,43	8,9	1.421.680,11	23.848.218,08	44.591.400,37	carvão (ciclo simples)
25.228.800,00	8,9	1.421.680,11	23.848.218,08	-11.272.371,06	gas (ciclo combinado)
75.686.400,00	8,9	1.421.680,11	23.848.218,08	39.185.228,94	diesel (ciclo simples)

Cálculo do Mérito (RI)

Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI	
64.874.057,14	36.501.171,06	1,78	óleo combustível (ciclo simples)
81.092.571,43	36.501.171,06	2,22	carvão mineral (ciclo simples)
25.228.800,00	36.501.171,06	0,69	gás natural (ciclo combinado)
75.686.400,00	36.501.171,06	2,07	óleo diesel (ciclo simples)

Tabela B6 - Hidrelétrica de Tucuruí - Baseado na Energia Anual Gerada

184.595.100 MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano	
4.2145	0,5	8.760	184.595.100	
$\alpha = E \cdot c \cdot T / ef$	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)
E (MWh/ano)	c (tC/MWh)	100	0,35	12.657.949.714,29
184.595.100	0,24			
	Carvão vapor	T	ef	
E	c	100	0,35	15.822.437.142,86
184.595.100	0,30			
	Gás Natural	T	ef	
E	c	100	0,45	4.922.536.000,00
184.595.100	0,12			
	Óleo Diesel	T	ef	
E	c	100	0,3	14.767.608.000,00
184.595.100	0,24			óleo diesel

Cálculo da Emissão Evitada de Carbono

$$e = \alpha - G \cdot \eta - \gamma$$

Emissão de CO2 (termoelétrica)	G (GWP 100 anos)	Emissão de CH4 (Hidrelétrica)	Emissão de CO2 (Hidrelétrica)	E	
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos		
12.657.949.714,29	8,9	6.968.234,53	127.813.035,88	12.468.119.391,11	óleo (ciclo simples)
15.822.437.142,86	8,9	6.968.234,53	127.813.035,88	15.632.606.819,68	carvão (ciclo simples)
4.922.536.000,00	8,9	6.968.234,53	127.813.035,88	4.732.705.676,82	gas (ciclo combinado)
14.767.608.000,00	8,9	6.968.234,53	127.813.035,88	14.577.777.676,82	diesel (ciclo simples)

Cálculo do Mérito (RI)

Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI	
12.657.949.714,29	189.830.323,18	66,68	óleo combustível (ciclo simples)
15.822.437.142,86	189.830.323,18	83,35	carvão mineral (ciclo simples)
4.922.536.000,00	189.830.323,18	25,93	gás natural (ciclo combinado)
14.767.608.000,00	189.830.323,18	77,79	óleo diesel (ciclo simples)

Tabela B7 - Hidrelétrica de Três Marias - Baseado na Energia Anual Gerada

1.697.688 MWh/ano

Cálculo de Emissão de CO2 pela Termelétrica Equivalente para Gerar mesma Energia por ano ao longo do tempo

Potência da Usina (MW)	Fator de Capacidade Médio	No. de Horas/ano	Energia Média Gerada/ano		
387,6	0,5	8760	1.697.688		
E (MWh/ano)	Óleo Combustível	T (n. de anos)	ef (%)	alfa (tC)	
1.697.688	c (tC/MWh)	100	0,35	116.412.891,43	
	Carvão vapor				
E	c	T	ef		
1.697.688	0,30	100	0,35	145.516.114,29	
	Gás Natural				
E	c	T	ef		
1.697.688	0,12	100	0,45	45.271.680,00	
	Óleo Diesel				
E	c	T	ef		
1.697.688	0,24	100	0,3	135.815.040,00	óleo diesel
Cálculo da Emissão Evitada de Carbono					
$e = \alpha - G \eta - \gamma$					
Emissão de CO2	G	Emissão de CH4	Emissão de CO2	e	
(termoelétrica)	(GWP 100 anos)	(Hidrelétrica)	(Hidrelétrica)		
t C/ 100 anos		t C/100 anos	t C/100 anos		
116.412.891,43	8,9	4.714.028,93	-102.207,03	74.560.241,00	óleo (ciclo simples)
145.516.114,29	8,9	4.714.028,93	-102.207,03	103.663.463,85	carvão (ciclo simples)
45.271.680,00	8,9	4.714.028,93	-102.207,03	3.419.029,57	gas (ciclo combinado)
135.815.040,00	8,9	4.714.028,93	-102.207,03	93.962.389,57	diesel (ciclo simples)
Cálculo do Mérito (RI)					
Emissões da term.	Emissões da Hidr.	RI			
116.412.891,43	41.852.650,43	2,78	óleo combustível (ciclo simples)		
145.516.114,29	41.852.650,43	3,48	carvão mineral (ciclo simples)		
45.271.680,00	41.852.650,43	1,08	gás natural (ciclo combinado)		
135.815.040,00	41.852.650,43	3,25	óleo diesel (ciclo simples)		

APÊNDICE C - Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa para o Parque Hidrelétrico – Latitudes

Nome	Potência instalada (MW)	Latitude	Longitude	UF	Área do reservatório (km ²)	Emissão de CO ₂ kg/dia	Emissão de CH ₄ kg/dia	Emissão Total de Carbono (t/dia) ¹¹
GRUPO I								
COARACY NUNES I	40,00	N 00:55:00	W 51:15:00	AP	23,1	195.772,50	2.587,20	55,33
BALBINA	250,00	S 01:55:00	W 59:28:00	AM	2824	23.933.400,00	316.288,00	6.763,85
CURUÁ-UNA	30,00	S 02:47:22	W 54:17:30	PA	78	661.050,00	8.736,00	186,82
TUCURUÍ I	4.200,00	S 03:45:00	W 49:40:00	PA	2635	22.331.625,00	295.120,00	6.311,17
TUCURUÍ 1/2	8.085,00	S 03:45:03	W 49:40:03	PA	2430	20.594.250,00	272.160,00	5.820,17
ARARAS	4,00	S 04:12:09	W 40:23:50	CE	96,95	821.651,25	10.858,40	232,21
GRUPO II								
BOA ESPERANÇA	225,00	S 06:40:00	W 43:34:00	PI/ MA	352,2	2.366.431,80	36.628,80	672,80
LAJES	2,70	S 06:47:00	W 48:09:40	TO	2,25	15.117,75	234,00	4,30
CUREMAS	3,76	S 07:01:00	W 37:58:00	PB	97,94	658.058,86	10.185,76	187,09
CORUJÃO	0,68	S 07:02:12	W 48:02:12	TO	2,6	17.469,40	270,40	4,97
SAMUEL	216,00	S 08:45:00	W 63:28:00	RO	730	4.904.870,00	75.920,00	1.394,50
GRUPO III								
ITAPARICA	1.500,00	S 09:06:00	W 38:19:00	PE/ BA	835	5.050.080,00	31.730,00	1.400,95
LUIZ GONZAGA	1.500,00	S 09:06:00	W 38:19:00	PE/ BA	828,19	5.008.893,12	31.471,22	1.389,53
COMPLEXO MOXOTÓ	4.306,00	S 09:12:07	W 38:12:30	BA	93	562.464,00	3.534,00	156,03
APOLÔNIO SALES	400,00	S 09:21:00	W 38:15:00	AL/ BA	108	653.184,00	4.104,00	181,20
PAULO AFONSO I	180,00	S 09:22:00	W 38:16:00	BA	4,8	29.030,40	182,40	8,05
PAULO AFONSO 2A	445,00	S 09:22:00	W 38:16:00	BA	4,8	29.030,40	182,40	8,05
PAULO AFONSO 2B	228,00	S 09:22:00	W 38:16:00	BA	4,8	29.030,40	182,40	8,05
PAULO AFONSO 3	800,00	S 09:22:00	W 38:16:00	BA	4,8	29.030,40	182,40	8,05
PAULO AFONSO 4	2.460,00	S 09:22:00	W 38:16:00	BA	16	96.768,00	608,00	26,84
SOBRADINHO	1.050,00	S 09:35:00	W 40:50:00	BA	4214	25.486.272,00	160.132,00	7.070,21
XINGÓ	3.000,00	S 09:37:05	W 37:47:00	AL/ SE	60	362.880,00	2.280,00	100,67
GRUPO IV								
BRAÇO NORTE II	10,00	S 09:47:00	W 54:59:00	MT	7,05	28.009,65	360,82	7,91
BRAÇO NORTE	5,49	S 09:49:56	W 55:00:55	MT	0,2	794,60	10,24	0,22
JKO (BRAÇO NORTE)	5,29	S 09:49:56	W 55:00:55	MT	0,2	794,60	10,24	0,22
LAJEADO		S 09:50:40	W 48:17:56	TO	0,11	437,03	5,63	0,12

¹¹ Não foi considerado neste cálculo o GWP neste cálculo.

	1,78							
ISAMU IKEDA	27,60	S 10:46:00	W 47:47:00	TO	10	39.730,00	511,80	11,22
JUÍNA	5,40	S 11:18:12	W 59:13:25	MT	3,08	12.236,84	157,63	3,46
ELETROSSOL	1,50	S 12:21:06	W 61:45:30	RO	0,6	2.383,80	30,71	0,67
ALTO FÊMEAS I	10,00	S 12:27:00	W 45:12:00	BA	0,01	39,73	0,51	0,01
CACHOEIRA		S 12:30:13	W 60:27:58	RO	11,6	46.086,80	593,69	13,01
MOSQUITO	0,37	S 12:57:13	W 46:22:16	GO	0,57	2.264,61	29,17	0,64
SÃO DOMINGOS	12,00	S 13:24:26	W 46:20:37	GO	2,25	8.939,25	115,16	2,52
CORRENTINA (PRES. GOULART)	9,00	S 13:30:00	W 44:38:00	BA	0,07	278,11	3,58	0,08
SERRA DA MESA	1.275,00	S 13:50:06	W 48:18:04	GO	1784	7.087.832,00	91.305,12	2.001,33
PEDRA	20,00	S 13:53:00	W 40:03:00	BA	101	401.273,00	5.169,18	113,30
FUNIL	30,00	S 14:11:10	W 39:28:00	BA	4,1	16.289,30	209,84	4,60
MAMBAÍ	0,37	S 14:41:16	W 46:17:54	GO	0,03	119,19	1,54	0,03
JUBA II	42,00	S 14:45:22	W 58:02:40	MT	2,5	9.932,50	127,95	2,80
JUBA I	42,00	S 14:45:40	W 58:02:11	MT	0,32	1.271,36	16,38	0,36
CULUENE	1,92	S 14:47:00	W 53:55:00	MT	0,39	1.549,47	19,96	0,44
ÁGUA SUJA	1,00	S 14:51:35	W 53:18:58	MT	0,03	119,19	1,54	0,03
SALTO BELO	3,60	S 14:51:57	W 53:17:53	MT	2,2	8.740,60	112,60	2,47
CASCA 3	12,00	S 15:21:42	W 55:26:35	MT	0,35	1.390,55	17,91	0,39
PRIMAVERA	9,00	S 15:22:55	W 54:25:11	MT	2,9	11.521,70	148,42	3,25
PANDEIROS	4,20	S 15:30:11	W 44:45:21	MG	0,4	1.589,20	20,47	0,45
PARANOÁ	26,00	S 15:47:14	W 47:47:23	DF	39,48	156.854,04	2.020,59	44,29
JOSÉ FRAGELLI	1,20	S 15:50:08	W 54:24:30	MT	0,18	715,14	9,21	0,20
JOSÉ ERMÍRIO DE MORAES	1.396,00	S 15:50:31	W 54:22:29	SP/ MG	646,26	2.567.590,98	33.075,59	724,99
TORIXORÉU	2,40	S 16:17:15	W 52:43:23	MT	0,53	2.105,69	27,13	0,59
SANTA MARTA	1,48	S 16:37:38	W 43:18:30	MG	0,94	3.734,62	48,11	1,05
ALTO GARÇAS	0,36	S 16:43:18	W 53:35:17	MT	0,02	79,46	1,02	0,02
ROCHEDO	4,00	S 17:23:16	W 49:13:11	GO	6,83	27.135,59	349,56	7,66
CORUMBÁ I	375,00	S 17:59:32	W 48:31:43	GO	65,83	261.542,59	3.369,18	73,85
GRUPO V								
TRÊS MARIAS	396,00	S 18:12:54	W 45:15:33	MG	1142	1.299.596,00	223.832,00	522,27
MASCARENHAS	123,00	S 18:21:00	W 40:44:00	ES	3,9	4.438,20	764,40	1,78
COXIM (VICTOR BRITO)	0,40	S 18:22:46	W 54:50:01	MS	3	3.414,00	588,00	1,37

ITUMBIARA	2.280,00	S 18:25:25	W 49:07:06	GO/ MG	814	926.332,00	159.544,00	372,27
EMBORCAÇÃO	1.192,00	S 18:27:07	W 47:59:38	MG	455,32	518.154,16	89.242,72	208,23
CACHOEIRA DOURADA	658,00	S 18:30:09	W 49:29:35	GO	74	84.212,00	14.504,00	33,84
GRUPO VI								0,00
COSTA RICA	16,00	S 18:33:31	W 53:07:59	MS	0,31	1.360,28	47,74	0,41
PARAÚNA	4,28	S 18:38:17	W 43:57:53	MG	1,5	6.582,00	231,00	1,97
TRONQUEIRAS	8,40	S 18:43:03	W 42:15:40	MG	0,8	3.510,40	123,20	1,05
MARTINS	7,70	S 18:48:38	W 48:23:10	MG	0,2	877,60	30,80	0,26
NEBLINA II	4,60	S 18:50:00	W 41:48:15	MG	0,15	658,20	23,10	0,20
MIRANDA	390,00	S 18:54:44	W 48:02:29	MG	50,6	222.032,80	7.792,40	66,39
SÃO SIMÃO	1.710,00	S 19:01:05	W 50:29:57	MG/ GO	772,25	3.388.633,00	118.926,50	1.013,28
SANTA MARIA	0,42	S 19:02:48	W 40:32:06	ES	0,07	307,16	10,78	0,09
CACHOEIRA DA ONÇA	0,24	S 19:03:00	W 40:32:00	ES	0,08	351,04	12,32	0,10
SALTO GRANDE	102,00	S 19:06:56	W 42:43:07	MG	5,8	25.450,40	893,20	7,61
NOVA PONTE	510,00	S 19:07:59	W 47:41:37	MG	446,58	1.959.593,04	68.773,32	585,96
DONA RITA	2,14	S 19:25:24	W 43:12:03	MG	0,36	1.579,68	55,44	0,47
SÁ CARVALHO	48,00	S 19:38:45	W 42:51:00	MG	1,5	6.582,00	231,00	1,97
GUILMAN-AMORIM	140,00	S 19:42:30	W 42:57:36	MG	1,1	4.826,80	169,40	1,44
SUMIDOURO	2,12	S 19:47:51	W 42:18:01	MG	0,6	2.632,80	92,40	0,79
BOM JESUS DO GALHO	0,36	S 19:49:17	W 42:19:10	MG	0,01	43,88	1,54	0,01
TABOCAS	0,46	S 19:51:00	W 40:40:00	ES	0,01	43,88	1,54	0,01
ÁGUA VERMELHA	1.396,00	S 19:51:04	W 50:20:04	SP	647	2.839.036,00	99.638,00	848,93
PETI	9,40	S 19:52:53	W 43:22:04	MG	6	26.328,00	924,00	7,87
IGARAPAVA	210,00	S 19:59:27	W 47:45:25	MG/ SP	36,51	160.205,88	5.622,54	47,91
JAGUARA	424,00	S 20:01:23	W 47:26:04	MG/ SP	36	157.968,00	5.544,00	47,24
VOLTA GRANDE	437,00	S 20:01:44	W 48:13:15	MG/ SP	221,7	972.819,60	34.141,80	290,89
RIO BONITO	14,00	S 20:03:30	W 40:37:58	ES	2,21	9.697,48	340,34	2,90
SUIÇA	31,00	S 20:05:05	W 40:33:36	ES	0,6	2.632,80	92,40	0,79
GAFANHOTO	13,00	S 20:06:01	W 44:50:54	MG	1,52	6.669,76	234,08	1,99
CACHOEIRA DO EMBOQUE	18,00	S 20:06:43	W 42:23:52	MG	2,95	12.944,60	454,30	3,87
PORTO COLÔMBIA	328,00	S 20:07:27	W 48:34:19	SP/ MG	143,9	631.433,20	22.160,60	188,81
ESTREITO	1.104,00	S 20:09:02	W 47:16:46	SP/ MG	49,96	219.224,48	7.693,84	65,55

RIO DE PEDRAS	9,28	S 20:12:50	W 43:43:54	MG	4	17.552,00	616,00	5,25
SINCERIDADE	1,40	S 20:13:21	W 41:59:40	MG	0,05	219,40	7,70	0,07
CAJURU	7,20	S 20:14:22	W 44:45:24	MG	27	118.476,00	4.158,00	35,43
MASCARENHAS DE MORAES	478,00	S 20:17:16	W 47:03:58	MG	272,5	1.195.730,00	41.965,00	357,55
MARIMBONDO	1.488,00	S 20:18:04	W 49:11:48	MG/SP	459	2.014.092,00	70.686,00	602,26
GRUPO VII								0,00
ILHA SOLTEIRA	3.444,00	S 20:22:56	W 51:21:49	SP/MS	1230	4.785.930,00	27.060,00	1.325,42
JUCU	2,24	S 20:23:47	W 40:33:48	ES	0,01	38,91	0,22	0,01
MUNIZ FREIRE	25,00	S 20:27:00	W 41:27:00	ES	0,18	700,38	3,96	0,19
SÃO JOAQUIM	5,60	S 20:35:00	W 47:47:00	SP	0,84	3.268,44	18,48	0,91
DOURADOS	6,40	S 20:39:00	W 47:41:00	SP	0,54	2.101,14	11,88	0,58
FURNAS	1.312,00	S 20:39:53	W 46:19:13	MG	1522,6	5.924.436,60	33.497,20	1.640,72
ASSIS CHATEUBRIAND	30,00	S 20:40:34	W 53:33:48	MS	15,4	59.921,40	338,80	16,59
SALTO MIMOSO	29,50	S 20:45:00	W 53:28:00	MS	21,96	85.446,36	483,12	23,66
JUPIÁ	1.551,20	S 20:46:00	W 51:37:00	SP	344	1.338.504,00	7.568,00	370,69
ANIL	2,08	S 20:49:06	W 45:05:06	MG	1,5	5.836,50	33,00	1,62
ESMERIL	1,77	S 20:50:00	W 47:18:00	SP	0,28	1.089,48	6,16	0,30
TOMBOS	12,00	S 20:55:00	W 42:01:00	RJ	0,015	58,37	0,33	0,02
CORONEL DOMICIANO	0,42	S 21:00:45	W 42:26:50	MG	1,95	7.587,45	42,90	2,10
GLÓRIA	14,50	S 21:02:09	W 42:19:54	MG	1,7	6.614,70	37,40	1,83
NOVA AVANHANDAVA	347,00	S 21:07:06	W 50:12:02	SP	218,7	850.961,70	4.811,40	235,67
PINHEIRINHO	0,64	S 21:07:34	W 47:02:48	MG	0,08	311,28	1,76	0,09
ITUTINGA	52,00	S 21:17:30	W 44:37:26	MG	1,64	6.381,24	36,08	1,77
MÁRIO L. LEÃO	264,00	S 21:17:52	W 49:47:20	SP	550	2.140.050,00	12.100,00	592,67
ITUERÊ	4,04	S 21:17:55	W 43:11:19	MG	0,18	700,38	3,96	0,19
CAMARGOS	48,00	S 21:19:32	W 44:36:58	MG	76	295.716,00	1.672,00	81,90
SÃO SEBASTIÃO	0,68	S 21:25:29	W 46:55:21	SP/MG	0,03	116,73	0,66	0,03
MAURÍCIO	1,28	S 21:28:08	W 42:50:10	MG	3,4	13.229,40	74,80	3,66
NOVA MAURÍCIO	32,10	S 21:28:30	W 42:50:40	MG	3,4	13.229,40	74,80	3,66
ANNA MARIA	1,56	S 21:29:09	W 43:27:14	MG	3	11.673,00	66,00	3,23
PIAU	18,00	S 21:30:17	W 43:22:21	MG	0,5	1.945,50	11,00	0,54
REINALDO GONÇALVES	1,00	S 21:34:00	W 48:57:00	SP	2,3	8.949,30	50,60	2,48

CACONDE	80,00	S 21:34:36	W 46:37:27	SP	34	132.294,00	748,00	36,64
EUCLIDES DA CUNHA	108,00	S 21:36:11	W 46:56:57	SP	1,28	4.980,48	28,16	1,38
ARMANDO SALLES DE OLIVEIRA	32,00	S 21:37:31	W 47:00:34	SP	3,6	14.007,60	79,20	3,88
ANTAS 2	7,80	S 21:44:50	W 46:36:10	MG	0,02	77,82	0,44	0,02
ANTAS 1	4,85	S 21:45:00	W 46:36:00	MG	0,01	38,91	0,22	0,01
IBITINGA	132,00	S 21:45:33	W 48:59:26	SP	126,5	492.211,50	2.783,00	136,31
ENG. UBIRAJARA M. MORAES	0,80	S 21:46:33	W 46:36:27	MG	0,06	233,46	1,32	0,06
MARMELOS 1-2	4,00	S 21:47:13	W 43:18:28	MG	0,03	116,73	0,66	0,03
OSWALDO COSTA	9,16	S 21:47:27	W 46:07:27	MG	2,4	9.338,40	52,80	2,59
POÇO FUNDO	12,00	S 21:47:27	W 46:07:27	MG	3,2	12.451,20	70,40	3,45
GAVIÃO PEIXOTO	4,11	S 21:51:00	W 48:31:00	SP	0,18	700,38	3,96	0,19
ILHA DOS POMBOS	164,00	S 21:51:00	W 42:35:00	RJ	3,15	12.256,65	69,30	3,39
CAPÃO PRETO	5,52	S 21:53:00	W 47:48:00	SP	2,8	10.894,80	61,60	3,02
CHIBARRO	2,28	S 21:53:00	W 48:05:00	SP	0,02	77,82	0,44	0,02
ERVALIA	6,00	S 21:54:03	W 42:39:47	MG	0,31	1.206,21	6,82	0,33
CHAVE DO VAZ	0,65	S 21:56:00	W 42:13:00	RJ	0,12	466,92	2,64	0,13
MONJOLINHO	0,60	S 22:02:00	W 47:55:00	SP	0,01	38,91	0,22	0,01
MELLO	10,00	S 22:03:00	W 43:45:00	MG	0,69	2.684,79	15,18	0,74
SANTANA	4,32	S 22:04:00	W 48:04:00	SP	0,6	2.334,60	13,20	0,65
MACABU	18,00	S 22:08:00	W 42:06:00	RJ	3,2	12.451,20	70,40	3,45
ÁLVARO SOUZA LIMA	144,00	S 22:09:12	W 48:45:09	SP	72,5	282.097,50	1.595,00	78,12
LOBO	2,50	S 22:09:43	W 47:54:04	SP	8	31.128,00	176,00	8,62
MORRO GRANDE	20,00	S 22:14:00	W 43:05:00	RJ	3,34	12.995,94	73,48	3,60
LARANJA DOCE	0,72	S 22:14:49	W 51:10:15	SP	3,12	12.139,92	68,64	3,36
PINHAL	7,00	S 22:17:00	W 46:46:00	SP	0,07	272,37	1,54	0,08
SALTO PINHAL	0,60	S 22:17:00	W 46:46:00	SP	0,07	272,37	1,54	0,08
MOGI-GUAÇU	7,20	S 22:22:47	W 46:54:02	SP	10,95	42.606,45	240,90	11,80
TRÊS SALTOS	0,64	S 22:23:00	W 48:10:00	SP	0,01	38,91	0,22	0,01
SÃO JOÃO 1	0,66	S 22:24:29	W 55:26:15	MS	3	11.673,00	66,00	3,23
SÃO JOÃO 2	0,60	S 22:26:45	W 55:30:00	MS	3	11.673,00	66,00	3,23
PORTO PRIMAVERA	1.814,40	S 22:28:28	W 52:57:28	SP/ MS	2312	8.995.992,00	50.864,00	2.491,36
SANTA CECÍLIA (RESERV.)	32,00	S 22:28:58	W 43:50:20	RJ	2,5	9.727,50	55,00	2,69

LENÇÓIS	1,68	S 22:31:00	W 48:39:00	SP	0,12	466,92	2,64	0,13
BARRA BONITA	140,00	S 22:31:10	W 48:32:04	SP	334	1.299.594,00	7.348,00	359,91
FUNIL	222,00	S 22:31:49	W 44:34:01	RJ	40,16	156.262,56	883,52	43,28
TAQUARUÇU	555,00	S 22:32:40	W 52:00:00	SP/P R	80,01	311.318,91	1.760,22	86,22
SÃO BERNARDO	6,82	S 22:33:40	W 45:32:16	MG	0,57	2.217,87	12,54	0,61
ROSANA	372,00	S 22:36:00	W 52:52:10	SP/P R	220	856.020,00	4.840,00	237,07
VIGÁRIO (RES. SANTANA)	88,00	S 22:37:48	W 43:53:45	RJ	6,36	24.746,76	139,92	6,85
CAPIVARA	640,00	S 22:39:40	W 51:20:09	SP/P R	550	2.140.050,00	12.100,00	592,67
NILO PEÇANHA I	380,00	S 22:41:00	W 43:52:26	RJ	3,24	12.606,84	71,28	3,49
PEREIRA PASSOS	100,00	S 22:41:11	W 43:49:31	RJ	1,1	4.280,10	24,20	1,19
AMERICANA	34,00	S 22:42:00	W 47:17:00	SP	11,57	45.018,87	254,54	12,47
CARIOBINHA	1,35	S 22:42:00	W 47:19:00	SP	0,1	389,10	2,20	0,11
ELOY CHAVES	8,80	S 22:42:00	W 47:17:00	SP	0,41	1.595,31	9,02	0,44
FONTES-BC	88,00	S 22:42:00	W 43:52:00	RJ	4	15.564,00	88,00	4,31
FONTES-LAJES	44,00	S 22:42:00	W 43:52:00	RJ	30,7	119.453,70	675,40	33,08
FONTES NOVA	132,00	S 22:42:11	W 43:52:53	RJ	31,3	121.788,30	688,60	33,73
ISABEL	2,64	S 22:45:12	W 45:26:48	SP	0,3	1.167,30	6,60	0,32
JAGUARI	14,00	S 22:49:00	W 46:54:00	SP	0,33	1.284,03	7,26	0,36
LUCAS NOGUEIRA GARCEZ	72,00	S 22:54:00	W 50:00:00	SP/P R	11,59	45.096,69	254,98	12,49
SALTO GRANDE	70,00	S 22:54:13	W 49:59:52	SP	13,53	52.645,23	297,66	14,58
SALTO GRANDE	3,30	S 22:56:00	W 46:54:00	SP	0,04	155,64	0,88	0,04
CANOAS II	72,00	S 22:56:10	W 50:14:59	SP/P R	23,61	91.866,51	519,42	25,44
CANOAS I	82,50	S 22:56:29	W 50:31:01	SP/P R	31	120.621,00	682,00	33,40
QUATIARA	2,60	S 22:57:06	W 50:55:42	SP	0,929	3.614,74	20,44	1,00
RIO NOVO	1,28	S 22:57:29	W 45:58:42	SP	1,22	4.747,02	26,84	1,31
CHAVANTES	416,00	S 23:07:00	W 49:44:00	SP/P R	400,28	1.557.489,48	8.806,16	431,33
XAVANTES	414,00	S 23:07:43	W 49:43:53	SP	416	1.618.656,00	9.152,00	448,27
PIRAJU	70,00	S 23:09:13	W 49:22:49	SP	17,2	66.925,20	378,40	18,53
PARANAPANEMA	18,00	S 23:11:13	W 49:23:02	SP	1,49	5.797,59	32,78	1,61
JAGUARI	28,00	S 23:11:42	W 46:01:40	SP	60,5	235.405,50	1.331,00	65,19
ARMANDO A. LAYDNER	98,00	S 23:12:32	W 49:08:31	SP	458	1.782.078,00	10.076,00	493,53
PORTO GÓES	11,00	S 23:12:33	W 47:17:47	SP	0,25	972,75	5,50	0,27

BOA VISTA	0,80	S 23:14:03	W 49:27:45	SP	0,11	428,01	2,42	0,12
SANTA BRANCA	58,00	S 23:22:32	W 45:52:34	SP	28	108.948,00	616,00	30,17
TRÊS IRMÃOS	807,50	S 23:22:35	W 51:18:22	SP	785	3.054.435,00	17.270,00	845,90
RASGÃO	22,00	S 23:22:48	W 47:01:56	SP	0,81	3.151,71	17,82	0,87
PARAIBUNA / PARAITINGA	86,00	S 23:24:36	W 45:36:02	SP	186	723.726,00	4.092,00	200,43
SALESÓPOLIS	2,00	S 23:33:49	W 45:49:58	SP	0,5	1.945,50	11,00	0,54
ITUPARANANGA	55,00	S 23:36:45	W 47:23:49	SP	24,1	93.773,10	530,20	25,97
APUCARANINHA	9,55	S 23:42:00	W 50:56:00	PR	0,5	1.945,50	11,00	0,54
HENRY BORDEN	887,00	S 23:52:31	W 46:26:55	SP	138,66	539.526,06	3.050,52	149,42
FRANÇA	29,50	S 23:56:26	W 47:11:40	SP	12,7	49.415,70	279,40	13,69
FUMAÇA	36,40	S 24:00:27	W 47:15:50	SP	6,92	26.925,72	152,24	7,46
BARRA	40,40	S 24:01:27	W 47:21:20	SP	1,93	7.509,63	42,46	2,08
PORTO RASO	28,40	S 24:03:45	W 47:24:57	SP	1,48	5.758,68	32,56	1,59
ALECRIM	7,20	S 24:04:53	W 47:30:24	SP	1,54	5.992,14	33,88	1,66
SALTO IPORANGA	36,80	S 24:05:59	W 47:43:13	SP	2,69	10.466,79	59,18	2,90
SERRARIA	24,00	S 24:09:07	W 47:32:53	SP	2,13	8.287,83	46,86	2,30
GRUPO VIII								
MELISSA	0,96	S 24:36:00	W 53:14:00	PR	2,9	494,65	60,26	0,18
JURUPARA	7,20	S 24:57:44	W 47:23:23	SP	4,3	733,45	89,35	0,27
PITANGUI	0,79	S 25:01:00	W 50:05:00	PR	3	511,71	62,34	0,19
SÃO JORGE	2,34	S 25:02:00	W 50:08:00	PR	7,2	1.228,10	149,62	0,45
CAPIVARI/CACHOEIRA	252,00	S 25:07:00	W 48:44:00	PR	14	2.387,98	290,92	0,87
GOV. PARIGOT DE SOUZA	252,00	S 25:07:00	W 48:44:00	PR	14	2.387,98	290,92	0,87
ITAIPU	12.600,00	S 25:25:37	W 54:35:35	PR/ Para guai	1549	264.212,93	32.188,22	96,19
MARUMBI	9,60	S 25:26:00	W 48:57:00	PR	2,9	494,65	60,26	0,18
CAVERNOSO	1,26	S 25:29:38	W 52:12:46	PR	2,9	494,65	60,26	0,18
GRUPO IX								
SALTO OSÓRIO	1.078,00	S 25:32:00	W 53:02:00	PR	57	153.615,00	518,70	42,28
SALTO CAXIAS	1.240,00	S 25:33:00	W 53:30:00	PR	144	388.080,00	1.310,40	106,81
JULIO MESQUITA FILHO	58,00	S 25:35:00	W 53:07:00	PR	0,5	1.347,50	4,55	0,37
SALTO SANTIAGO	1.420,00	S 25:39:00	W 52:37:00	PR	220	592.900,00	2.002,00	163,19
GUARICANA	36,00	S 25:43:00	W 48:59:00	PR	1,07	2.883,65	9,74	0,79

DERIVAÇÃO JORDÃO - EIXO B	7,00	S 25:46:00	W 52:07:00	PR	3,7	9.971,50	33,67	2,74
COMPLEXO SEGREDO	1.260,00	S 25:47:00	W 52:08:00	PR	84	226.380,00	764,40	62,31
SEGREDO	1.260,00	S 25:48:00	W 52:07:00	PR	80,58	217.163,10	733,28	59,77
CHAMINÉ (RES. VOSSOROCA)	18,00	S 25:49:00	W 49:04:00	PR	5,1	13.744,50	46,41	3,78
CHAMINÉ (RES. SALTO DO MEIO)	18,00	S 25:52:00	W 49:00:00	PR	0,12	323,40	1,09	0,09
FOZ DO CHOPIM	50,00	S 25:59:09	W 52:44:50	PR	0,5	1.347,50	4,55	0,37
BENTO MUNHOZ DA ROCHA NETO	1.676,00	S 26:00:00	W 51:36:00	PR	163	439.285,00	1.483,30	120,91
FOZ DO AREIA	1.676,00	S 26:00:00	W 51:36:00	PR	1,63	4.392,85	14,83	1,21
SALTO DO VAU	0,96	S 26:03:00	W 51:12:00	PR	2,9	7.815,50	26,39	2,15
SÃO LOURENÇO	0,50	S 26:17:00	W 49:17:00	SC	0,06	161,70	0,55	0,04
PIRAÍ	1,37	S 26:17:42	W 49:01:05	SC	0,12	323,40	1,09	0,09
BRACINHO	17,00	S 26:21:00	W 49:08:00	SC	1,34	3.611,30	12,19	0,99
PALMEIRAS	17,00	S 26:39:39	W 49:20:01	SC	3,1	8.354,50	28,21	2,30
CEDROS	8,00	S 26:40:00	W 49:20:00	SC	2,94	7.923,30	26,75	2,18
CELSO RAMOS	5,76	S 26:45:26	W 52:15:26	SC	0,08	215,60	0,73	0,06
PEIXE	0,72	S 27:00:00	W 51:10:00	SC	1,58	4.258,10	14,38	1,17
PERY	4,40	S 27:28:00	W 50:39:00	SC	0,05	134,75	0,46	0,04
GUARITA	1,76	S 27:30:00	W 53:30:00	RS	1,9	5.120,50	17,29	1,41
IVO SILVEIRA	2,40	S 27:30:00	W 51:25:00	SC	0,06	161,70	0,55	0,04
GARCIA	9,60	S 27:33:00	W 49:00:00	SC	0,74	1.994,30	6,73	0,55
PASSO FUNDO	220,00	S 27:33:00	W 52:44:00	RS	155	417.725,00	1.410,50	114,97
FORQUILHA	1,12	S 27:40:00	W 51:44:00	RS	0,03	80,85	0,27	0,02
CAVEIRAS	4,30	S 27:52:00	W 50:26:00	SC	10,4	28.028,00	94,64	7,71
CAPIGUI	4,47	S 28:30:00	W 52:10:00	RS	7,6	20.482,00	69,16	5,64
CASCATA DAS ANDORINHAS	0,51	S 28:30:00	W 53:50:00	RS	4	10.780,00	36,40	2,97
IJUIZINHO	1,12	S 28:30:00	W 54:25:00	RS	0,03	80,85	0,27	0,02
SALTINHO	0,85	S 28:30:00	W 51:30:00	RS	10	26.950,00	91,00	7,42
ERNESTINA	4,96	S 28:33:32	W 52:32:49	RS	40	107.800,00	364,00	29,67
JACUÍ	180,00	S 29:03:00	W 53:14:00	RS	5,3	14.283,50	48,23	3,93
IVAÍ	0,77	S 29:07:00	W 53:21:00	RS	0,04	107,80	0,36	0,03
PASSO REAL	158,00	S 29:10:00	W 53:10:00	RS	225	606.375,00	2.047,50	166,89
ITAÚBA	500,00	S 29:15:35	W 53:40:10	RS	13,8	37.191,00	125,58	10,24

TOCA	1,00	S 29:16:00	W 50:45:00	RS	0,01	26,95	0,09	0,01
PASSO DO INFERNO	1,49	S 29:17:00	W 50:45:00	RS	0,04	107,80	0,36	0,03
BUGRES	11,50	S 29:21:00	W 50:42:00	RS	2,5	6.737,50	22,75	1,85
CANASTRA	44,00	S 29:23:00	W 50:44:00	RS	0,05	134,75	0,46	0,04
LAVRINHAS	0,38	S 47:56:20	W 23:58:50	SP	0,04	107,80	0,36	0,03
TURVINHO	0,80	S 47:57:20	W 23:59:40	SP	0,07	188,65	0,64	0,05
Total								52.874,58

**APÊNDICE D- Extrapolação para o Parque Hidrelétrico – Teoria da
Criticalidade**

Nome	Empresa concessionária	Potência instalada (MW)	UF	Área do reservatório (km ²)	Emissão de CO ₂ kg/km ² /dia	Emissão de CH ₄ kg/km ² /dia	Emissão Total tC/dia ⁱⁱⁱ
ÁGUA SUJA	CEMAT	1,00	MT	0,03	10,71	0,55	0,01
ÁGUA VERMELHA	EGEE TIETÊ	1.396,00	SP	647	230.901,36	11.833,63	242,73
ALECRIM	CBA	7,20	SP	1,54	549,60	28,17	0,58
ALTO FÊMEAS I	COELBA	10,00	BA	0,01	3,57	0,18	0,00
ALTO GARÇAS	CEMAT	0,36	MT	0,02	7,14	0,37	0,01
ÁLVARO SOUZA LIMA	EGEE TIETÊ	144,00	SP	72,5	25.873,80	1.326,03	27,20
AMERICANA	CPFL	34,00	SP	11,57	4.129,10	211,62	4,34
ANIL	CEMIG	2,08	MG	1,5	535,32	27,44	0,56
ANNA MARIA	CEBCC	1,56	MG	3	1.070,64	54,87	1,13
ANTAS 1	POÇOS DE CALDAS - DME	4,85	MG	0,01	3,57	0,18	0,00
ANTAS 2	POÇOS DE CALDAS - DME	7,80	MG	0,02	7,14	0,37	0,01
APOLÔNIO SALES	CHESF	400,00	AL/BA	108	38.543,04	1.975,32	40,52
APUCARANINHA	COPEL	9,55	PR	0,5	178,44	9,15	0,19
ARARAS	CHESF	4,00	CE	96,95	34.599,52	1.773,22	36,37
ARMANDO A. LAYDNER	EGEE PARANAPANEMA	98,00	SP	458	163.451,04	8.376,82	171,83
ARMANDO SALLES DE OLIVEIRA	EGEE TIETÊ	32,00	SP	3,6	1.284,77	65,84	1,35
ASSIS CHATEUBRIAND	ENERSUL	30,00	MS	15,4	5.495,95	281,67	5,78
BALBINA	MANAUS ENERGIA S.A	250,00	AM	2824	1.007.829,12	51.650,96	1.059,48
BARRA	CBA	40,40	SP	1,93	688,78	35,30	0,72
BARRA BONITA	EGEE TIETÊ	140,00	SP	334	119.197,92	6.108,86	125,31
BENTO MUNHOZ DA ROCHA NETO	COPEL	1.676,00	PR	163	58.171,44	2.981,27	61,15
BOA ESPERANÇA	CHESF	225,00	PI/MA	352,2	125.693,14	6.441,74	132,13
BOA VISTA	CLFSC	0,80	SP	0,11	39,26	2,01	0,04
BOM JESUS DO GALHO	CEMIG	0,36	MG	0,01	3,57	0,18	0,00
BRACINHO	CELESC	17,00	SC	1,34	478,22	24,51	0,50
BRAÇO NORTE	CEMAT	5,49	MT	0,2	71,38	3,66	0,08
BRAÇO NORTE II	ELETRAM S/A	10,00	MT	7,05	2.516,00	128,94	2,64
BUGRES	CEEE		RS	2,5	892,20	45,73	0,94

ⁱⁱⁱ Não foi considerado neste cálculo o GWP.

		11,50					
CACHOEIRA	ELETROGÓES		RO	11,6	4.139,81	212,16	4,35
CACHOEIRA DA ONÇA	EMP.LUZ FORÇA STA. MARIA	0,24	ES	0,08	28,55	1,46	0,03
CACHOEIRA DO EMBOQUE	CFLCL	18,00	MG	2,95	1.052,80	53,96	1,11
CACHOEIRA DOURADA	CDSA	658,00	GO	74	26.409,12	1.353,46	27,76
CACONDE	EGEE TIETÊ	80,00	SP	34	12.133,92	621,86	12,76
CAJURU	CEMIG	7,20	MG	27	9.635,76	493,83	10,13
CAMARGOS	CEMIG	48,00	MG	76	27.122,88	1.390,04	28,51
CANASTRA	CEEE	44,00	RS	0,05	17,84	0,91	0,02
CANOAS I	EGEE PARANAPANEMA	82,50	SP/PR	31	11.063,28	566,99	11,63
CANOAS II	EGEE PARANAPANEMA	72,00	SP/PR	23,61	8.425,94	431,83	8,86
CAPÃO PRETO	CPFL	5,52	SP	2,8	999,26	51,21	1,05
CAPIGUI	CEEE	4,47	RS	7,6	2.712,29	139,00	2,85
CAPIVARA	EGEE PARANAPANEMA	640,00	SP/PR	550	196.284,00	10.059,50	206,34
CAPIVARI/CACHOEIRA	COPEL	252,00	PR	14	4.996,32	256,06	5,25
CARIOBINHA	CPFL	1,35	SP	0,1	35,69	1,83	0,04
CASCA 3	CEMAT	12,00	MT	0,35	124,91	6,40	0,13
CASCATA DAS ANDORINHAS	RGE S.A	0,51	RS	4	1.427,52	73,16	1,50
CAVEIRAS	CELESC	4,30	SC	10,4	3.711,55	190,22	3,90
CAVERNOSO	COPEL	1,26	PR	2,9	1.034,95	53,04	1,09
CEDROS	CELESC	8,00	SC	2,94	1.049,23	53,77	1,10
CELSO RAMOS	CELESC	5,76	SC	0,08	28,55	1,46	0,03
CHAMINÉ (RES. SALTO DO MEIO)	COPEL	18,00	PR	0,12	42,83	2,19	0,05
CHAMINÉ (RES. VOSSOROCA)	COPEL	18,00	PR	5,1	1.820,09	93,28	1,91
CHAVANTES	CESP	416,00	SP/PR	400,28	142.851,93	7.321,12	150,17
CHAVE DO VAZ	CERJ	0,65	RJ	0,12	42,83	2,19	0,05
CHIBARRO	CPFL	2,28	SP	0,02	7,14	0,37	0,01
COARACY NUNES I	ELETRONORTE	40,00	AP	23,1	8.243,93	422,50	8,67
COMPLEXO MOXOTÓ	CHESF	4.306,00	BA	93	33.189,84	1.700,97	34,89
COMPLEXO SEGREDO	COPEL	1.260,00	PR	84	29.977,92	1.536,36	31,51
CORONEL DOMICIANO	CFLCL	0,42	MG	1,95	695,92	35,67	0,73
CORRENTINA (PRES. GOULART)	COELBA	9,00	BA	0,07	24,98	1,28	0,03
CORUJÃO	CELTINS		TO	2,6	927,89	47,55	0,98

		0,68					
CORUMBÁ I	FURNAS	375,00	GO	65,83	23.493,41	1.204,03	24,70
COSTA RICA	ENERSUL	16,00	MS	0,31	110,63	5,67	0,12
COXIM (VICTOR BRITO)	ENERSUL	0,40	MS	3	1.070,64	54,87	1,13
CULUENE	CEMAT	1,92	MT	0,39	139,18	7,13	0,15
CUREMAS	CHESF	3,76	PB	97,94	34.952,83	1.791,32	36,74
CURUÁ-UNA	CELPA	30,00	PA	78	27.836,64	1.426,62	29,26
DERIVAÇÃO JORDÃO - EIXO B	COPEL	7,00	PR	3,7	1.320,46	67,67	1,39
DONA RITA	CEMIG	2,14	MG	0,36	128,48	6,58	0,14
DOURADOS	CPFL	6,40	SP	0,54	192,72	9,88	0,20
ELETROSSOL	CASSOL IND.	1,50	RO	0,6	214,13	10,97	0,23
ELOY CHAVES	CPFL	8,80	SP	0,41	146,32	7,50	0,15
EMBORCAÇÃO	CEMIG	1.192,00	MG	455,32	162.494,60	8.327,80	170,82
ENG. UBIRAJARA M. MORAES	DME/MG	0,80	MG	0,06	21,41	1,10	0,02
ERNESTINA	CEEE	4,96	RS	40	14.275,20	731,60	15,01
ERVALIA	CFLCL	6,00	MG	0,31	110,63	5,67	0,12
ESMERIL	CPFL	1,77	SP	0,28	99,93	5,12	0,11
ESTREITO	FURNAS	1.104,00	SP/MG	49,96	17.829,72	913,77	18,74
EUCLIDES DA CUNHA	EGEE TIETÊ	108,00	SP	1,28	456,81	23,41	0,48
FONTES NOVA	LIGHT	132,00	RJ	31,3	11.170,34	572,48	11,74
FONTES-BC	LIGHT	88,00	RJ	4	1.427,52	73,16	1,50
FONTES-LAJES	LIGHT	44,00	RJ	30,7	10.956,22	561,50	11,52
FORQUILHA	CEEE	1,12	RS	0,03	10,71	0,55	0,01
FOZ DO AREIA	COPEL	1.676,00	PR	1,63	581,71	29,81	0,61
FOZ DO CHOPIM	COPEL	50,00	PR	0,5	178,44	9,15	0,19
FRANÇA	CBA	29,50	SP	12,7	4.532,38	232,28	4,76
FUMAÇA	CBA	36,40	SP	6,92	2.469,61	126,57	2,60
FUNIL	CHESF	30,00	BA	4,1	1.463,21	74,99	1,54
FUNIL	FURNAS	222,00	RJ	40,16	14.332,30	734,53	15,07
FURNAS	FURNAS	1.312,00	MG	1522,6	543.385,49	27.848,35	571,23
GAFANHOTO	CEMIG	13,00	MG	1,52	542,46	27,80	0,57
GARCIA	CELESC	9,60	SC	0,74	264,09	13,53	0,28

GAVIÃO PEIXOTO	CPFL	4,11	SP	0,18	64,24	3,29	0,07
GLÓRIA	VALESUL	14,50	MG	1,7	606,70	31,09	0,64
GOV. PARIGOT DE SOUZA	COPEL	252,00	PR	14	4.996,32	256,06	5,25
GUARICANA	COPEL	36,00	PR	1,07	381,86	19,57	0,40
GUARITA	CEEE	1,76	RS	1,9	678,07	34,75	0,71
GUILMAN-AMORIM	CIMENTO CAUÊ	140,00	MG	1,1	392,57	20,12	0,41
HENRY BORDEN	EMAE	887,00	SP	138,66	49.484,98	2.536,09	52,02
IBITINGA	EGEE TIETÊ	132,00	SP	126,5	45.145,32	2.313,69	47,46
IGARAPAVA	CEMIG/CONSÓRCIO	210,00	MG/SP	36,51	13.029,69	667,77	13,70
IJUIZINHO	CEEE	1,12	RS	0,03	10,71	0,55	0,01
ILHA DOS POMBOS	LIGHT	164,00	RJ	3,15	1.124,17	57,61	1,18
ILHA SOLTEIRA	CESP	3.444,00	SP/MS	1230	438.962,40	22.496,70	461,46
ISABEL	EMAE	2,64	SP	0,3	107,06	5,49	0,11
ISAMU IKEDA	CELTINS	27,60	TO	10	3.568,80	182,90	3,75
ITAIPU	ITAIPU BINACIONAL	12.600,00	PR/Paraguai	1549	552.807,12	28.331,21	581,14
ITAPARICA	CHESF	1.500,00	PE/BA	835	297.994,80	15.272,15	313,27
ITAÚBA	CEEE	500,00	RS	13,8	4.924,94	252,40	5,18
ITUERÊ	VALESUL	4,04	MG	0,18	64,24	3,29	0,07
ITUMBIARA	FURNAS	2.280,00	GO/MG	814	290.500,32	14.888,06	305,39
ITUPARANANGA	CBA	55,00	SP	24,1	8.600,81	440,79	9,04
ITUTINGA	CEMIG	52,00	MG	1,64	585,28	30,00	0,62
IVAÍ	CEEE	0,77	RS	0,04	14,28	0,73	0,02
IVO SILVEIRA	CELESC	2,40	SC	0,06	21,41	1,10	0,02
JACUÍ	CEEE	180,00	RS	5,3	1.891,46	96,94	1,99
JAGUARA	CEMIG	424,00	MG/SP	36	12.847,68	658,44	13,51
JAGUARI	CESP	28,00	SP	60,5	21.591,24	1.106,55	22,70
JAGUARI	CPFL	14,00	SP	0,33	117,77	6,04	0,12
JKO (BRAÇO NORTE)	CEMAT	5,29	MT	0,2	71,38	3,66	0,08
JOSÉ ERMÍRIO DE MORAES	CESP	1.396,00	SP/MG	646,26	230.637,27	11.820,10	242,46
JOSÉ FRAGELLI	CEMAT	1,20	MT	0,18	64,24	3,29	0,07
JUBA I	ITAMARATI NORTE S.A	42,00	MT	0,32	114,20	5,85	0,12
JUBA II	ITAMARATI NORTE S.A	42,00	MT	2,5	892,20	45,73	0,94

JUCU	ESCELSA	2,24	ES	0,01	3,57	0,18	0,00
JUÍNA	CEMAT	5,40	MT	3,08	1.099,19	56,33	1,16
JULIO MESQUITA FILHO	COPEL	58,00	PR	0,5	178,44	9,15	0,19
JUPIÁ	CESP	1.551,20	SP	344	122.766,72	6.291,76	129,06
JURUPARA	CBA	7,20	SP	4,3	1.534,58	78,65	1,61
LAJEADO	CELTINS	1,78	TO	0,11	39,26	2,01	0,04
LAJES	CELTINS	2,70	TO	2,25	802,98	41,15	0,84
LARANJA DOCE	CAIUÁ	0,72	SP	3,12	1.113,47	57,06	1,17
LAVRINHAS	CIA. SUL PAULISTA DE ENERGIA	0,38	SP	0,04	14,28	0,73	0,02
LENÇÓIS	CPFL	1,68	SP	0,12	42,83	2,19	0,05
LOBO	ELEKTRO	2,50	SP	8	2.855,04	146,32	3,00
LUCAS NOGUEIRA GARCEZ	CESP	72,00	SP/PR	11,59	4.136,24	211,98	4,35
LUIZ GONZAGA	CHESF	1.500,00	PE/BA	828,19	295.564,45	15.147,60	310,71
MACABU	CERJ	18,00	RJ	3,2	1.142,02	58,53	1,20
MAMBAÍ	CELG	0,37	GO	0,03	10,71	0,55	0,01
MARIMBONDO	FURNAS	1.488,00	MG/SP	459	163.807,92	8.395,11	172,20
MÁRIO L. LEÃO	EGEE TIETÊ	264,00	SP	550	196.284,00	10.059,50	206,34
MARMELOS 1-2	CEMIG	4,00	MG	0,03	10,71	0,55	0,01
MARTINS	CEMIG	7,70	MG	0,2	71,38	3,66	0,08
MARUMBI	COPEL	9,60	PR	2,9	1.034,95	53,04	1,09
MASCARENHAS	ESCELSA	123,00	ES	3,9	1.391,83	71,33	1,46
MASCARENHAS DE MORAES	FURNAS	478,00	MG	272,5	97.249,80	4.984,03	102,23
MAURÍCIO	CFLCL	1,28	MG	3,4	1.213,39	62,19	1,28
MELISSA	COPEL	0,96	PR	2,9	1.034,95	53,04	1,09
MELLO	VALESUL ALUMÍNIO S.A	10,00	MG	0,69	246,25	12,62	0,26
MIRANDA	CEMIG	390,00	MG	50,6	18.058,13	925,47	18,98
MOGI-GUAÇU	EGEE TIETÊ	7,20	SP	10,95	3.907,84	200,28	4,11
MONJOLINHO	CPFL	0,60	SP	0,01	3,57	0,18	0,00
MORRO GRANDE	CERJ	20,00	RJ	3,34	1.191,98	61,09	1,25
MOSQUITO	CELG	0,37	GO	0,57	203,42	10,43	0,21
MUNIZ FREIRE	SAMARCO	25,00	ES	0,18	64,24	3,29	0,07
NEBLINA II	CFLCL	4,60	MG	0,15	53,53	2,74	0,06

NILO PEÇANHA 1	LIGHT	380,00	RJ	3,24	1.156,29	59,26	1,22
NOVA AVANHANDAVA	EGEE TIETÊ	347,00	SP	218,7	78.049,66	4.000,02	82,05
NOVA MAURÍCIO	VALESUL	32,10	MG	3,4	1.213,39	62,19	1,28
NOVA PONTE	CEMIG	510,00	MG	446,58	159.375,47	8.167,95	167,54
OSWALDO COSTA	CEMIG	9,16	MG	2,4	856,51	43,90	0,90
PALMEIRAS	CELESC	17,00	SC	3,1	1.106,33	56,70	1,16
PANDEIROS	CEMIG	4,20	MG	0,4	142,75	7,32	0,15
PARAIBUNA / PARAITINGA	CESP	86,00	SP	186	66.379,68	3.401,94	69,78
PARANAPANEMA	CLFSC	18,00	SP	1,49	531,75	27,25	0,56
PARANOÁ	CEB	26,00	DF	39,48	14.089,62	722,09	14,81
PARAÚNA	CEMIG	4,28	MG	1,5	535,32	27,44	0,56
PASSO DO INFERNO	CEEE	1,49	RS	0,04	14,28	0,73	0,02
PASSO FUNDO	GERASUL	220,00	RS	155	55.316,40	2.834,95	58,15
PASSO REAL	CEEE	158,00	RS	225	80.298,00	4.115,25	84,41
PAULO AFONSO 1	CHESF	180,00	BA	4,8	1.713,02	87,79	1,80
PAULO AFONSO 2A	CHESF	445,00	BA	4,8	1.713,02	87,79	1,80
PAULO AFONSO 2B	CHESF	228,00	BA	4,8	1.713,02	87,79	1,80
PAULO AFONSO 3	CHESF	800,00	BA	4,8	1.713,02	87,79	1,80
PAULO AFONSO 4	CHESF	2.460,00	BA	16	5.710,08	292,64	6,00
PEDRA	CHESF	20,00	BA	101	36.044,88	1.847,29	37,89
PEIXE	CELESC	0,72	SC	1,58	563,87	28,90	0,59
PEREIRA PASSOS	LIGHT	100,00	RJ	1,1	392,57	20,12	0,41
PERY	CELESC	4,40	SC	0,05	17,84	0,91	0,02
PETI	CEMIG	9,40	MG	6	2.141,28	109,74	2,25
PIAU	CEMIG	18,00	MG	0,5	178,44	9,15	0,19
PINHAL	CPFL	7,00	SP	0,07	24,98	1,28	0,03
PINHEIRINHO	CIA FORÇA E LUZ MOCOCA	0,64	MG	0,08	28,55	1,46	0,03
PIRAÍ	CELESC	1,37	SC	0,12	42,83	2,19	0,05
PIRAJU	CBA	70,00	SP	17,2	6.138,34	314,59	6,45
PITANGUI	COPEL	0,79	PR	3	1.070,64	54,87	1,13
POÇO FUNDO	CEMIG	12,00	MG	3,2	1.142,02	58,53	1,20
PORTO COLÔMBIA	FURNAS	328,00	SP/MG	143,9	51.355,03	2.631,93	53,99

PORTO GÓES	EMAE	11,00	SP	0,25	89,22	4,57	0,09
PORTO PRIMAVERA	CESP	1.814,40	SP/MS	2312	825.106,56	42.286,48	867,39
PORTO RASO	CBA	28,40	SP	1,48	528,18	27,07	0,56
PRIMAVERA	CEMAT	9,00	MT	2,9	1.034,95	53,04	1,09
QUATIARA	CAIUÁ	2,60	SP	0,929	331,54	16,99	0,35
RASGÃO	EMAE	22,00	SP	0,81	289,07	14,81	0,30
REINALDO GONÇALVES	CNEE	1,00	SP	2,3	820,82	42,07	0,86
RIO BONITO	ESCELSA	14,00	ES	2,21	788,70	40,42	0,83
RIO DE PEDRAS	CEMIG	9,28	MG	4	1.427,52	73,16	1,50
RIO NOVO	CLFSC	1,28	SP	1,22	435,39	22,31	0,46
ROCHEDO	CELG	4,00	GO	6,83	2.437,49	124,92	2,56
ROSANA	EGEE PARANAPANEMA	372,00	SP/PR	220	78.513,60	4.023,80	82,54
SÁ CARVALHO	ACESITA	48,00	MG	1,5	535,32	27,44	0,56
SALESÓPOLIS	EMAE	2,00	SP	0,5	178,44	9,15	0,19
SALTINHO	RGE	0,85	RS	10	3.568,80	182,90	3,75
SALTO BELO	ENERCOOP S.A	3,60	MT	2,2	785,14	40,24	0,83
SALTO CAXIAS	COPEL	1.240,00	PR	144	51.390,72	2.633,76	54,02
SALTO DO VAU	COPEL	0,96	PR	2,9	1.034,95	53,04	1,09
SALTO GRANDE	CEMIG	102,00	MG	5,8	2.069,90	106,08	2,18
SALTO GRANDE	CPFL	3,30	SP	0,04	14,28	0,73	0,02
SALTO GRANDE	EGEE PARANAPANEMA	70,00	SP	13,53	4.828,59	247,46	5,08
SALTO IPORANGA	CBA	36,80	SP	2,69	960,01	49,20	1,01
SALTO MIMOSO	ENERSUL	29,50	MS	21,96	7.837,08	401,65	8,24
SALTO OSÓRIG	GERASUL	1.078,00	PR	57	20.342,16	1.042,53	21,38
SALTO PINHAL	CPFL	0,60	SP	0,07	24,98	1,28	0,03
SALTO SANTIAGO	GERASUL	1.420,00	PR	220	78.513,60	4.023,80	82,54
SAMUEL	ELETRONORTE	216,00	RO	730	260.522,40	13.351,70	273,87
SANTA BRANCA	LIGTH	58,00	SP	28	9.992,64	512,12	10,50
SANTA CECÍLIA (RESERV.)	LIGHT	32,00	RJ	2,5	892,20	45,73	0,94
SANTA MARIA	CIA FORÇA E LUZ SANTA MARIA	0,42	ES	0,07	24,98	1,28	0,03
SANTA MARTA	CEMIG	1,48	MG	0,94	335,47	17,19	0,35
SANTANA	CPFL	4,32	SP	0,6	214,13	10,97	0,23

SÃO BERNARDO	CEMIG	6,82	MG	0,57	203,42	10,43	0,21
SÃO DOMINGOS	CELG	12,00	GO	2,25	802,98	41,15	0,84
SÃO JOÃO 1	ENERSUL	0,66	MS	3	1.070,64	54,87	1,13
SÃO JOÃO 2	ENERSUL	0,60	MS	3	1.070,64	54,87	1,13
SÃO JOAQUIM	CPFL	5,60	SP	0,84	299,78	15,36	0,32
SÃO JORGE	COPEL	2,34	PR	7,2	2.569,54	131,69	2,70
SÃO LOURENÇO	CELESC	0,50	SC	0,06	21,41	1,10	0,02
SÃO SEBASTIÃO	CIA. FORÇA E LUZ MOCOCA	0,68	SP/MG	0,03	10,71	0,55	0,01
SÃO SIMÃO	CEMIG	1.710,00	MG/GO	772,25	275.600,58	14.124,45	289,73
SEGREDO	COPEL	1.260,00	PR	80,58	28.757,39	1.473,81	30,23
SERRA DA MESA	FURNAS/CEN	1.275,00	GO	1784	636.673,92	32.629,36	669,30
SERRARIA	CBA	24,00	SP	2,13	760,15	38,96	0,80
SINCERIDADE	CFLCL	1,40	MG	0,05	17,84	0,91	0,02
SOBRADINHO	CHESF	1.050,00	BA	4214	1.503.892,32	77.074,06	1.580,97
SOUZA DIAS (JUPIÁ)	CESP	1.443,00	SP/MS	344	122.766,72	6.291,76	129,06
SUIÇA	ESCELSA	31,00	ES	0,6	214,13	10,97	0,23
SUMIDOURO	CEMIG	2,12	MG	0,6	214,13	10,97	0,23
TABOCAS	FORÇA E LUZ SANTA MARIA	0,46	ES	0,01	3,57	0,18	0,00
TAQUARUÇU	EGEE PARANAPANEMA	555,00	SP/PR	80,01	28.553,97	1.463,38	30,02
TOCA	CEEE	1,00	RS	0,01	3,57	0,18	0,00
TOMBOS	CERJ	12,00	RJ	0,015	5,35	0,27	0,01
TORIXORÉU	CEMAT	2,40	MT	0,53	189,15	9,69	0,20
TRÊS IRMÃOS	CESP	807,50	SP	785	280.150,80	14.357,65	294,51
TRÊS MARIAS	CEMIG	396,00	MG	1142	407.556,96	20.887,18	428,44
TRÊS SALTOS	CPFL	0,64	SP	0,01	3,57	0,18	0,00
TRONQUEIRAS	CEMIG	8,40	MG	0,8	285,50	14,63	0,30
TUCURUÍ 1	ELETRONORTE	4.200,00	PA	2635	940.378,80	48.194,15	988,57
TUCURUÍ 1/2	ELETRONORTE	8.085,00	PA	2430	867.218,40	44.444,70	911,66
TURVINHO	CIA. SUL PAULISTA DE ENERGIA	0,80	SP	0,07	24,98	1,28	0,03
VIGÁRIO (RES. SANTANA)	LIGHT	88,00	RJ	6,36	2.269,76	116,32	2,39
VOLTA GRANDE	CEMIG	437,00	MG/SP	221,7	79.120,30	4.054,89	83,18
XAVANTES	EGEE PARANAPANEMA	414,00	SP	416	148.462,08	7.608,64	156,07

XINGÓ	CHESF	3.000,00	AL/SE	60	21.412,80	1.097,40	22,51
Total		92.054,52		39.803,40			14.933,04