

# Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Metano Proveniente de Reservatórios de Usinas Hidrelétricas da COPEL na Geração de Energia

Rodrigo S. Ferreira, Helena M. Wilhelm, Eduardo M. Trindade e Péricles S. Bond

**Resumo** - O efeito estufa é uma das maiores preocupações do mundo moderno. Sua origem reside no crescente aumento da concentração atmosférica de gases poluentes, como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), que provocam alterações profundas no equilíbrio térmico do planeta. Recentemente, parte do aumento das emissões de metano tem sido atribuída ao barramento de rios em planícies de inundação para construção de reservatórios hidrelétricos. A formação deste gás nestas condições, é atribuída principalmente à decomposição anaeróbica de matéria orgânica submersa, oriunda da vegetação antes existente na região. O presente artigo descreve o desenvolvimento de processos de coleta e medição da quantidade de gás metano dispersa na água do reservatório da usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza (GPS), situado na região metropolitana de Curitiba/PR, e, do reservatório de Alagados localizado na região da cidade de Ponta Grossa/PR.

**Palavras-chave** – Aquecimento global, Efeito estufa, Geração de energia, Metano.

## I. INTRODUÇÃO

Recentemente, o conceito de hidroeletricidade como fonte de energia “limpa” tem sido discutido amplamente pelo setor elétrico. A causa principal de tal mobilização é a de que pesquisas desenvolvidas em todas as regiões do país, indicam que há a liberação de gases por reservatórios de usinas hidrelétricas, os quais, são considerados responsáveis pela formação do efeito estufa.

O termo “efeito estufa” se aplica ao aumento significativo da temperatura média global do ar em vários graus como resultado da elevação da concentração de gás carbônico e de outros gases na atmosfera [1].

Dentre estes gases, o metano ocupa lugar de destaque na classificação de potencialidade de formação da camada térmica que ocasiona a má dissipação de calor da Terra. Por molécula, um aumento da quantidade de metano no ar causa um efeito de aquecimento 21 vezes maior que a adição de CO<sub>2</sub> [1]. Sua concentração média global é de 1,72 ppmv (partes por milhão por volume).

A preocupação a respeito da liberação de metano por reservatórios, é fundamentada em estudos indicativos de que cerca de 70% das emissões atuais deste gás são derivadas das atividades humanas, sendo produzidas por via biológica pela decomposição anaeróbica de matéria de origem orgânica. Tal processo se dá em grande escala onde ocorre por exemplo, decomposição de plantas submersas em água, em pântanos, terrenos úmidos de cultivo de arroz, desflorestamentos, acúmulo de resíduos orgânicos, entre outros. A expansão de terras alagadas que ocorre por inundação para produção de energia hidrelétrica é somada a

esse total. O efeito do aquecimento global do CH<sub>4</sub> e do CO<sub>2</sub> produzido por um reservatório de grandes proporções pode, por muitos anos, exceder o CO<sub>2</sub> que seria emitido se uma planta de queima de carvão fosse usada para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Assim, a energia hidrelétrica não é uma forma de energia isenta de emissões quando a terra é inundada para gerá-la [1], [3].

Em virtude destas questões, por meio de uma iniciativa da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) e em parceria com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), foi desenvolvido o projeto intitulado: “Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de metano proveniente do reservatório de GPS na geração de energia”. O projeto, com duração de 2 anos, fez parte do ciclo ANEEL 2005/2006 identificado com o código 2864-007/2005 e foi concluído com grandes observações e resultados acerca da emissão de metano por reservatórios de usinas hidrelétricas.

No âmbito do projeto foram investigados dois importantes reservatórios de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), sendo eles: o reservatório do Capivari que abastece a usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza (GPS), e o de Alagados que fornece suprimento de água para a usina São Jorge. Trata-se de dois reservatórios distintos que representam parte da tipologia existente na região sul do país.

Dentre os objetivos principais do projeto foram destacados o desenvolvimento de uma metodologia analítica para coleta e dosagem de metano em água; a determinação da concentração deste gás gerado nos reservatórios das usinas hidrelétricas Governador Parigot de Souza e São Jorge em diferentes pontos e estações do ano, além do desenvolvimento de sistemas de engenharia capazes de extrair o metano para a superfície do reservatório.

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou que a concessionária ampliasse seu conhecimento a respeito da emissão de metano pelos reservatórios de sua concessão.

Os resultados obtidos indicam que novos projetos podem ser realizados com o intuito de aproveitar gases causadores de efeito estufa emitidos por reservatórios, na cogeração de energia.

## II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### A. Descrição dos Reservatórios Avaliados

O início da formação do reservatório da Capivari se deu a partir de 1961, e em 26 de janeiro de 1971 foi inaugurada a usina hidrelétrica. Este reservatório tem suas coordenadas geográficas situadas a 48 graus e 44 minutos de longitude a

oeste do meridiano de Greenwich e 25 graus e 7 minutos de latitude sul. Localiza-se no primeiro planalto paranaense a 842 metros acima do nível do mar, nos municípios de Campina Grande do Sul/PR e Bocaiúva do Sul/PR, distante 62 Km de Curitiba (figura 1).

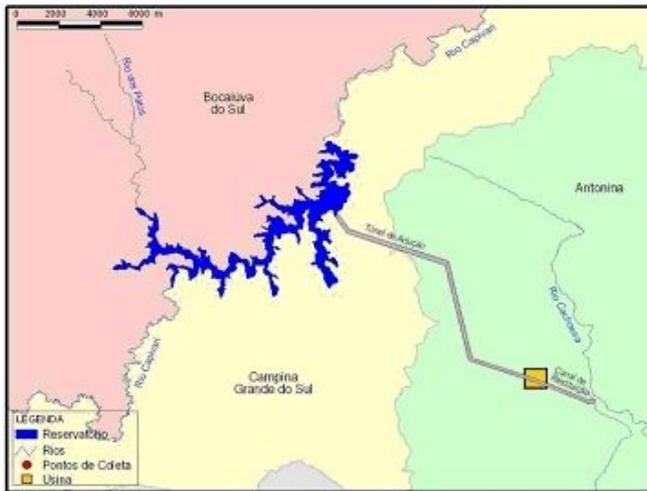


Figura 1. Localização geográfica do reservatório do Capivari.

A barragem da usina de Capivari forma um reservatório de 150 milhões de metros cúbicos de água em uma área total inundada de 12 quilômetros quadrados. Apresenta profundidade média de 30 metros. O tempo de permanência da água no reservatório até sua descida para a usina é de aproximadamente 107 dias.

Já o segundo reservatório estudado, o de Alagados (figura 2), abriga um importante centro de lazer na cidade de Ponta Grossa/PR, o iate clube, e, serve de importante fonte de abastecimento de água para a cidade, por meio de estação da captação da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). O reservatório apresenta profundidade média de 9 metros, e movimenta a usina hidrelétrica de São Jorge, a qual possui a potência instalada de 2,3 MW.



Figura 2. Localização geográfica do reservatório de Alagados.

Inicialmente, um importante reservatório da COPEL, seria incluído no estudo, o reservatório da usina hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (GBM). A usina de GBM possui uma capacidade de 1.676 MW, e um reservatório com volume útil de 3.805 Hm<sup>3</sup> [10].

Entretanto, durante o período do projeto, este reservatório sofreu interdição por duas vezes em dois anos seguidos ocasionado pelo desenvolvimento explosivo de algas e de cianobactérias, devido à sua grande capacidade de eutrofismo. Entretanto, a retirada de metano neste reservatório, esbarra na sua enorme variação de nível devido a operação bastante estressada para cumprir a política de operação da UH GBM para com o Sistema Interligado, o qual é operado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

Qualquer tecnologia a ser implantada, para o aproveitamento de metano, teria que prever que pelo menos duas vezes por ano o reservatório teria uma variação de perto de 25 metros. Seria mais apropriado para a concessionária, eliminar ou minimizar os despejos de dejetos orgânicos no reservatório, mapeando os principais poluidores e agindo junto com os órgãos ambientais, estabelecendo prazos e metas para a redução. Neste aspecto, é importante observar que a redução do despejo de nutrientes nos reservatórios do cone Sul da América do Sul, vai de encontro ao controle da disseminação de organismos invasores como o *limnoperma fortunei* (mexilhão dourado).

#### B. Determinação dos Pontos de Amostragem de Água nos Reservatórios

O critério para a seleção dos locais amostrados levou em conta a profundidade medida por meio do uso de um aparelho ecobatímetro. Foram escolhidos 4 pontos estratégicos em cada um dos reservatórios. Os pontos amostrados no reservatório do Capivari foram determinados de acordo com as maiores profundidades encontradas, sendo estas superiores a 20 m. Estes pontos estão representados na Figura 3. Os pontos foram denominados da seguinte maneira: P1 – Vertedouro de descarga de fundo, P2 – Bóias do vertedouro, P3 – Tomada d'água e P4 – Ponte da BR-116.

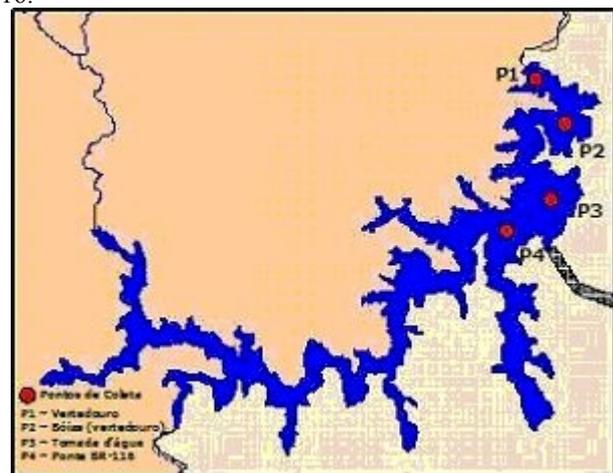


Figura 3. Mapa geográfico do reservatório do Capivari indicando os pontos amostrados.

A profundidade máxima dos pontos amostrados no reservatório de Alagados não ultrapassou 9 m. Estes estão representados na figura 4. Estes pontos receberam a seguinte denominação: P1 – Iate clube garagem 1, P2 – Iate clube garagem 2, P3 – Paredão de pedra e P4 – Ponto da Cruz.



Figura 4. Mapa geográfico do reservatório de Alagados indicando os pontos amostrados.

Dentre estes, o ponto P4 foi considerado de maior importância na geração de metano, pois, nesta área existe a presença de granjas de criação de suínos as quais contribuem para o aporte de material orgânico para o interior do reservatório.

#### C. Metodologia Desenvolvida para Amostragem de Água nos Reservatórios

As amostras de água foram coletadas com uma garrafa coletora tipo Van Dorn, com aberturas laterais, com 5 litros de capacidade (figura 5). Ao atingir o fundo do reservatório a garrafa foi fechada aprisionando a amostra aquosa daquela profundidade. Após o içamento da garrafa, imediatamente foi retirada uma amostra por meio do uso de uma seringa de vidro com capacidade de 50mL (figura 6), acoplada a uma válvula de vedação tipo luer lock para coleta da amostra, e posterior determinação do teor de metano disperso.



Figura 5. Garrafa coletora de Van Dorn.



Figura 6. Retirada da amostra de água da garrafa coletora de Van Dorn com a seringa de vidro.

#### D. Determinação de Metano nas Amostras de Água Coletadas

O volume de água contido na seringa (50 mL) foi injetado em um sistema de extração de gases. Após aplicação de vácuo e agitação constante, o gás foi separado da água e recolhido em uma microseringa. Foram retirados 500  $\mu$ L da amostra gasosa e procedida a análise cromatográfica com detecção por ionização em chama.

As amostras de ar coletadas no canal de fuga da UHE de GPS foram analisadas da mesma forma. Por se tratar de uma amostra gasosa, não houve necessidade de extração do metano, procedimento adotado para as amostras aquosas, sendo sua injeção realizada diretamente no cromatógrafo.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### E. Concentração de Metano nas Amostras de Água Coletadas no Reservatório do Capivari

Pesquisas correlatas citam que quando amostras de água são trazidas do fundo de um reservatório até a superfície em um frasco de amostragem, a água espuma em função da liberação dos gases nela contidos [2]. Este processo pode ser nomeado como “Efeito Champagne”, termo genérico que caracteriza o desprendimento de gases dispersos, por meio da redução de pressão do sistema. Entretanto, em nenhuma das etapas deste projeto surgiram dados que comprovassem a existência de tal efeito.

O início da prospecção de metano no reservatório do Capivari foi marcada por uma época de estiagem na região, que causou um desequilíbrio significativo no ecossistema. O nível normal de profundidade do reservatório é de 845 m acima do nível do mar, sendo que no período de estiagem este chegou a estar 50% abaixo do nível normal. Esta situação está mostrada na figura 7. Na figura 8 é mostrada a mesma região indicada na figura 7, após a normalização do nível do reservatório em decorrência do volume de precipitações ocorridas na região. Este período foi seguido por um novo período de estiagem. Paralelamente, a operação dos reservatórios da região Sul do Brasil, determinada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), modificou o “modus operandi” dos reservatórios desta região que passaram a ser utilizados em sua plenitude. Isto

determinou enormes variações de nível nas cotas destes reservatórios.

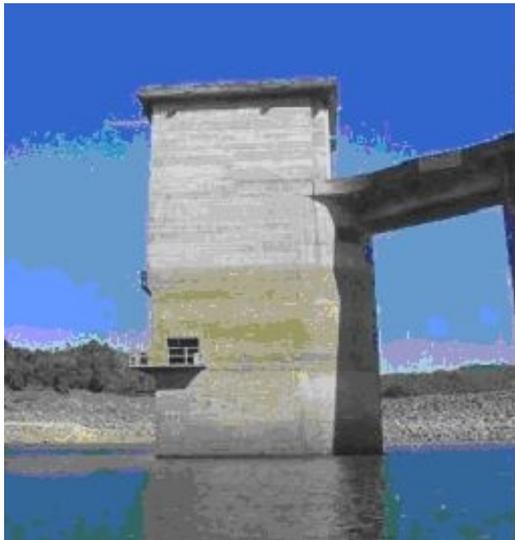


Figura 7. Região do vertedouro na ocasião da estiagem (2006).

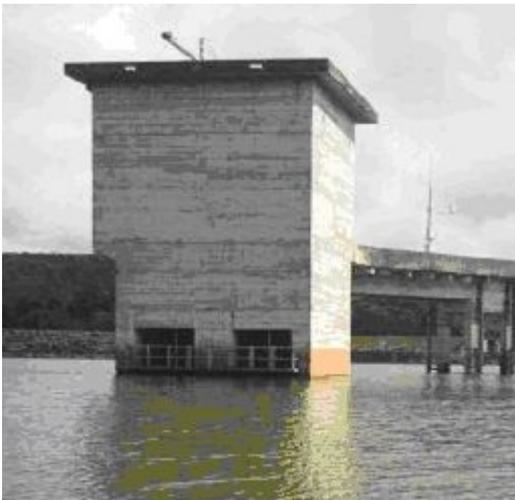


Figura 8. Região do vertedouro na ocasião do nível normal do reservatório (a partir de 12/2006).

A diminuição do nível de água do reservatório ao longo de 2006 dificultou o levantamento de dados, pois, neste período não houve troca de nutrientes entre as margens do reservatório e o corpo d'água. Isto pode ser comprovado pelos dados apresentados na tabela I que representam os valores de concentração de metano em cada ponto coletado, nas diversas campanhas de amostragem realizadas.

Por outro lado, o período de estiagem favoreceu o surgimento de vegetação nas margens expostas do entorno do reservatório. Quando este retornou à sua capacidade normal, esta vegetação submergiu e um processo de decomposição foi iniciado, que ocasionou uma renovação de nutrientes no corpo d'água, aumentando o nível de troficidade do reservatório como um todo.

Tabela I. Níveis de metano nas amostras de água coletadas no reservatório de Capivari durante o período de estiagem.

AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE (m)				CONCENTRAÇÃO DE METANO (ppmv)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1 AGOSTO/06	28	30	10	5	2	<1	<1	<1
	29	31	20	15	3	3	<1	<1

	30	33	23	23	377(*)	3	2	<1
2 OUTUBRO/06	29	28	25	14	<1	9	<1	<1
	35	29	25	15	211(*)	101(*)	<1	22(*)
	35	30	27	19	<1	3	<1	2

(\*) Pontos excluídos do cálculo do valor médio (tabela II), por serem derivados de amostras coletadas do fundo do reservatório, as quais continham excesso de matéria orgânica (lodo).

O valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO) refletiu estes fenômenos de decomposição do material sedimentado, ou seja, o aumento do nível de nutrientes na massa líquida, a partir da segunda amostragem. Em decorrência, houve uma progressiva elevação na população de plantas aquáticas na massa líquida e, conseqüentemente, de outros organismos situados em níveis superiores na cadeia alimentar (cadeia trófica). Esta renovação de matéria orgânica no corpo d'água a partir da segunda amostragem, conduziu à elevação da concentração de metano observada a partir da terceira amostragem conforme mostrado na tabela II.

Tabela II. Níveis de metano nas amostras de água coletadas no reservatório de Capivari após o período de estiagem.

AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE (m)				CONCENTRAÇÃO DE METANO (ppmv)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
3 NOVEMBRO/06	30	36	25	24	104	26	<1	234
	38	38	30	25	2	66	25	282
	40	40	33	26	135	43	73	365
4 DEZEMBRO/06	30	35	25	20	28	114	<1	<1
	35	38	29	22	100	86	67	20
	42	43	31	25	91	100	<1	2

As amostragens 1 e 2 (tabela I) foram realizadas na ocasião do período de estiagem que atingiu a região do reservatório. Com isso foram encontrados baixos valores de concentração de metano nos pontos amostrados. Porém, os dados das amostragens 3 e 4 (tabela II) mostraram altas concentrações de metano. Nesta ocasião o reservatório já havia alcançado praticamente seu nível normal, devido ao grande volume de chuvas que encerrou o período de estiagem. Na tabela III são destacados os valores médios de concentração de metano nos pontos amostrados nas diferentes condições climáticas.

Tabela III. Concentração média de metano nas amostras de água coletadas em diferentes épocas do ano.

Pontos de Amostragem	Concentração Média de Metano (ppmv)	
	Período de Estiagem	Período Normal
P1	1	77
P2	4	73
P3	<1	28
P4	<1	151

Os dados expostos na tabela III sugerem que há uma maior concentração de metano na região do ponto P4. Porém, esta alta concentração somente foi observada na terceira coleta, sendo que na quarta amostragem estes valores foram reduzidos consideravelmente. Os pontos P1 e P2 do reservatório mantiveram uma certa regularidade nos

valores de concentração de metano tanto na terceira quanto na quarta amostragens.

#### F. Instalação de um Sistema Protótipo para Extração de Metano no Reservatório do Capivari

O primeiro protótipo de extração de metano foi baseado no sistema de aquecimento da água do reservatório na região próxima ao fundo onde existe a comprovação de maior concentração deste gás. Este foi montado e instalado no reservatório do Capivari para testes iniciais. O sistema foi composto por uma tubulação de PVC de 2 polegadas com 36 metros de comprimento. Foi utilizada uma resistência elétrica de aquecimento de 300 Watts, com tensão de 12 Volts. Esta resistência foi descida dentro da tubulação de PVC e imersa na água a uma profundidade de 36 metros. A resistência elétrica foi ligada em uma bateria de 12 Volts e 90 amperes.

Na figura 9 é mostrado o ponto determinado para execução da instalação do protótipo no reservatório do Capivari.

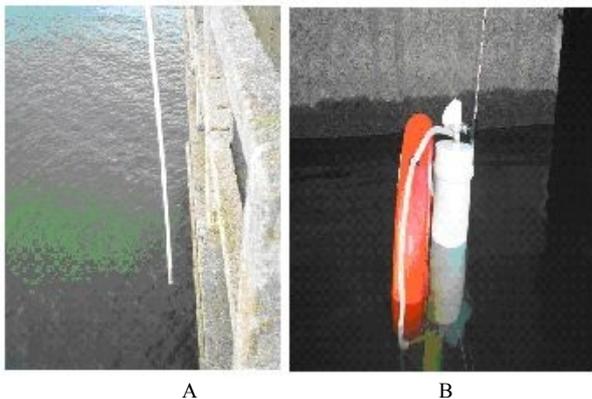


Figura 9. Sistema montado para extração de metano na região do vertedouro: A-) Descida da tubulação de PVC, B-) Extremidade superior do tubo para recolhimento de metano.

No teste inicial nesta região do reservatório, o aquecimento gerado pela resistência elétrica foi mantido por 2 horas e o gás metano eventualmente liberado foi armazenado em um balão de borracha acoplado ao protótipo instalado na região do vertedouro (figura 9A). A amostra coletada foi em seguida analisada por cromatografia em fase gasosa e revelou a presença de metano na concentração de 24 ppmv, após 2 horas de ensaio quando utilizada a resistência elétrica. Esta concentração é baixa, porém representa o nível médio de metano determinado nesta região em processo de amostragem realizado no momento da instalação do protótipo.

Em seguida o protótipo foi deslocado até o ponto denominado bóias do vertedouro onde foi acoplado para testes de extração de metano. O sistema de coleta deste gás foi alterado em relação ao modelo anterior (figura 9B) e está representado na figura 10.



Figura 10. Sistema montado para extração de metano na região das bóias do vertedouro.

Entretanto, nessa ocasião não foi constatada a liberação de metano em concentrações superiores a 5 ppmv.

#### G. Amostragem Atmosférica na Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza (GPS) para Determinação de Metano Disperso

Com o objetivo de correlacionar as concentrações de metano determinadas no reservatório com as emissões, após passagem da água pelas unidades geradoras, a equipe técnica realizou medições atmosféricas no interior da usina de GPS. Esta atividade não estava prevista no projeto original.

O canal de fuga é a região de escape da água na usina após a passagem pela central geradora. Uma vez que o sistema de captação de água na usina é composto por túneis isolados da atmosfera, foi estimado que o metano presente no reservatório do Capivari seria liberado somente nessa região após a captação de água. Essa trajetória é representada na figura 11.

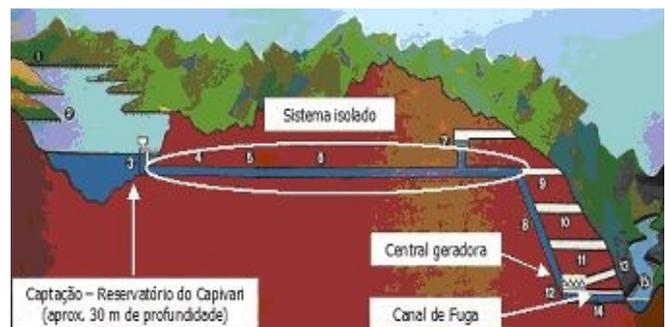


Figura 11. Modelo esquemático de captação de água da usina hidrelétrica de GPS.

Quando a água emerge das turbinas, a pressão abaixa imediatamente até o nível de uma atmosfera, e espera-se que a maior parte do gás disperso na água seja liberada imediatamente [2]. Gases liberados deste modo incluem o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>. Embora presente em quantidades menores, o CH<sub>4</sub> é liberado no percurso da água pelo vertedouro, onde a liberação é provocada não somente pela mudança de pressão e temperatura, mas também pela provisão súbita de uma área de superfície vasta quando a água é pulverizada em pequenas gotas [5]. O papel da temperatura nesse processo pode ser visualizado a partir da relação entre a temperatura e

a solubilidade de CH<sub>4</sub>, um aumento na temperatura de 15°C para 25°C, por exemplo, reduz em 18,3% a solubilidade de CH<sub>4</sub> na água [6-9].

O sistema montado para amostragem de gás na região do canal de fuga, mostrado na figura 12, foi composto por: compressor próprio para coleta de gases (pressão 7 bar), cilindro amostrador e mangueira de sucção. A mangueira de sucção foi posicionada junto à saída de água no canal de fuga com o propósito de captar maior volume de gás antes de sua diluição (figura 13).

Para a operação de amostragem, foi efetuado o desligamento do exaustor de gases que atua neste ponto. O mesmo ficou inoperante por aproximadamente 2 horas, e somente após esse período a sucção de gases foi iniciada. Essa metodologia foi adotada para que houvesse o acúmulo de gases na região do canal de fuga, aumentando a confiabilidade do método de amostragem.



Figura 12. Sistema montado para coleta de gases no canal de fuga da UHE GPS.



Figura 13. Posicionamento da mangueira de sucção dos gases acoplada ao sistema.

As amostras foram analisadas pela técnica de cromatografia a gás, e os resultados obtidos são mostrados

na tabela IV. A diferença nos valores de concentração de metano para as duas amostras coletadas no canal de fuga foi atribuída ao acúmulo de gases entre os dois processos de amostragem, uma vez que o exaustor estava desligado.

Tabela IV. Resultados referentes a concentração de metano nas amostras de ar coletadas na usina de GPS

Amostra	Concentração de metano (ppmv)
Canal de Fuga – amostra 1	50
Canal de Fuga – amostra 2	133
Saída de água Turbina U7	67

Os resultados obtidos (tabelas III e IV) mostraram que não é possível correlacionar a concentração de metano determinada no reservatório com a concentração emitida na saída da unidade geradora, em função da não homogeneidade da formação do metano no reservatório. Assim, sugere-se que inferências sobre as emissões de metano na usina hidrelétrica de GPS sejam limitadas às medições realizadas no canal de fuga das unidades geradoras.

Como continuidade, da pesquisa realizada, sugere-se que para efeito de avaliação energética do gás emitido pelo reservatório do Capivari o estudo possa ser limitado aos levantamentos de dados do canal de fuga da usina hidrelétrica de GPS.

#### H. Concentração de Metano nas Amostras de Água Coletas no Reservatório de Alagados

Por possuir uma característica de alta concentração de atividade humana às suas margens, o reservatório de Alagados apresentou altos níveis de metano em detrimento ao reservatório do Capivari, sendo encontradas concentrações de metano de até 2800 ppmv. Os valores determinados são mostrados na tabela V.

Tabela V. Níveis de metano nas amostras de água coletadas no reservatório de Alagados.

PONTOS AMOSTRADOS	PROFUNDIDADE (m)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (ppmv)
P1 IATE CLUBE GARAGEM 1	5,0	<1
	7,5	2
	7,5	830
P2 IATE CLUBE GARAGEM 2	4,0	2
	5,0	<1
	7,0	<1
P3 PONTO DO PAREDÃO	4,0	3
	5,0	<1
	7,0	275
P4 PONTO DA CRUZ	4,0	4
	5,0	<1
	6,0	2.875

As maiores concentrações de metano obtidas nos pontos de amostragem são referentes a amostras do fundo do reservatório contendo um alto teor de matéria orgânica (lodo). As outras amostras coletadas em profundidade inferior a 5 m, não apresentaram teores de metano significativos uma vez que a liberação deste gás para a atmosfera é favorecida pela ação da luz e calor devido à baixa profundidade do reservatório. As análises físico-químicas destas amostras mostraram baixos valores de DQO e fósforo total, semelhantes aos encontrados no reservatório de Capivari, indicando baixo nível de troficidade.

### I. Instalação de um Sistema Protótipo para Extração de Metano no Reservatório de Alagados

A partir dos resultados de metano presente na água do reservatório de GPS, foi levantado um sistema protótipo para extração deste gás que agisse de maneira eficiente e principalmente, que apresentasse um balanço energético favorável. Uma das abordagens previstas seria baseada em extração por bombeamento. Entretanto, devido à deposição de uma patente, de outro instituto de pesquisa, utilizando este método, foi testado um sistema alternativo, baseado no aquecimento da água do fundo do reservatório.

O sistema de extração foi composto por tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, resistência de aquecimento de 300 Watts por 12 Volts acoplada a bateria de 90 amperes e uma plataforma flutuadora para sustentação (figura 14). O protótipo foi instalado no ponto de maior concentração de metano determinada em processo de amostragem anterior (aproximadamente 2800 ppmv), ou seja, no ponto da Cruz (P4).



Figura 14. Sistema de plataforma flutuante utilizado na extração de metano instalado no ponto P4 no reservatório de Alagados.

Na extremidade superior da tubulação de PVC, foi adaptado um recipiente plástico coletor de gases (figura 14) para armazenamento do metano eventualmente liberado por meio do aquecimento da água pela ação da resistência elétrica.

A extremidade inferior do protótipo foi constituída por um tubo de aço contendo entradas laterais compostas por canos de  $\frac{1}{4}$  de polegada confeccionados em cobre. Este sistema limita a entrada de água na tubulação, favorecendo o aquecimento por meio da utilização da resistência elétrica. Este artefato é mostrado na figura 15.

Foi determinada uma concentração de metano de 281 ppmv após aplicação de 1,5 h de aquecimento da água durante ensaio com o protótipo de extração. Este resultado indica que o sistema foi eficiente na extração do metano do reservatório de Alagados e reflete aproximadamente 10% do total registrado na análise cromatográfica da amostra aquosa retirada com a utilização de garrafa de *Van Dorn* e seringa *Luer Lock* (conforme tabela V).

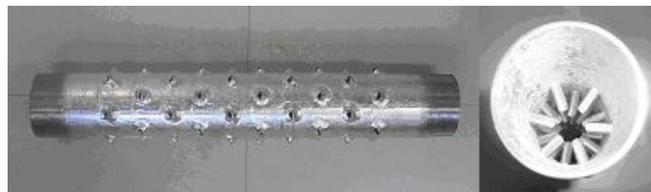


Figura 15. Ponteira utilizada na extremidade inferior da tubulação de PVC constituinte do sistema protótipo para extração de metano instalado no reservatório de Alagados.

Em função da limitação do prazo de execução do projeto não foi possível avaliar neste estudo o efeito de vazão na continuidade de extração do metano em um mesmo ponto. Também não foi possível determinar a influência da pressão na saída sobre a liberação do metano retido na água em função do tipo de sistema de armazenamento utilizado, que pode contribuir com uma pressão positiva sobre a superfície líquida.

### IV. CONCLUSÕES

De acordo com as análises efetuadas, pode-se concluir que:

- Não ocorre uma uniformidade na distribuição do metano nos reservatórios de usinas hidrelétricas, ou seja, a concentração deste gás varia de acordo com a região amostrada, profundidade e disponibilidade de matéria orgânica (crescimento da vegetação nas margens pela variação do nível). Em regiões menos profundas, o metano é liberado facilmente para a atmosfera pela ação do calor e pela redução na pressão.
- Devido a não homogeneidade da formação do metano no reservatório, não é possível extrapolar, a partir da concentração de metano encontrada em uma, ou algumas, amostras de água pontuais, a concentração de metano em toda a extensão do reservatório.
- Como não é possível extrapolar a concentração de metano em toda a extensão do reservatório, a partir da concentração de metano encontrada em uma, ou algumas, amostras de água pontuais, o cálculo da eficiência energética da utilização de gás metano existente no reservatório para geração de energia não representa um parâmetro confiável para avaliação energética.
- Não é possível correlacionar a concentração de metano determinada no reservatório da UHE de GPS com a concentração emitida na saída da unidade geradora, em função da não homogeneidade da formação do metano no reservatório.
- O aproveitamento do metano no reservatório de Alagados em uma determinada região, que pode ser estabelecida como campo de extração de metano, é viável. Esta região não compromete o turismo comumente realizado no local com vantagens para o

ecossistema. Convém ressaltar que este reservatório está a montante de uma pequena central hidrelétrica (PCH) e não sofre a influência da operação determinada pela ONS, sendo o nível praticamente constante ao longo do ano. Diferentemente dos outros reservatórios da COPEL, a exemplo do de GPS, que sofrem esta influência, estressando a operação do reservatório mediante enormes variações de nível do reservatório. Estas variações impedem o emprego de qualquer tecnologia de extração de metano no reservatório. Para estes casos, sugere-se a prospecção no canal de fuga das unidades geradoras.

Assim, como continuidade deste projeto de pesquisa, sugere-se a instalação de sistemas de captação de gás metano na saída do exaustor de gases do canal de fuga da usina de GPS, pois, este está localizado em uma região isolada, porém de fácil acesso pela equipe técnica da concessionária.

Também seria interessante no sentido de aproveitamento de metano, a realização de um projeto e instalação de um sistema piloto de captação deste gás em um ponto apropriado no reservatório de Alagados. Este reservatório apresenta fácil acesso, e principalmente altos níveis de metano disperso na água conforme resultados indicados neste trabalho.

## V. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAIRD, C., Química Ambiental, Bookman Ed. 2ª ed., 2002.
- [2] FEARNSIDE, P. M.; “Emissões de Gases de efeito estufa por represas hidrelétricas: controvérsias fornecem um trampolim para repensar uma fonte de energia supostamente limpa” Coordenação de Pesquisas em Ecologia, INPA, Manaus, AM, 2004.
- [3] P.M. FEARNSIDE; “As usinas hidrelétricas mitigam o efeito estufa? O caso da barragem de Curuá-Una” Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM, 2004.
- [4] P.M. FEARNSIDE; “Emissões de gases de efeito estufa de um reservatório hidrelétrico (a represa de Tucuruí) e as suas implicações para a política energética” Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM, 2002.
- [5] M. A. SANTOS; “Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas” Rio de Janeiro, 2000. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [6] M. B. CLENNELL; *Brazilian Journal of Geophysics*, 18(3), 397-410, 2001.
- [7] J. T. HUTTUNEN; *Chemosphere* 52, 609-621, 2003.
- [8] M. VON SPERLING; “Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos”; DESA-UFMG, 1996.
- [9] G. A . MAKHOV; N. M. BAZHIN; *Chemosphere*, 38, 1453-1459, 1999.
- [10] <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2006372.pdf> Acessado em 26/03/2008.