

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Processo de ciclagem e emissão de gases de efeito estufa  
em reservatório hidrelétrico do Centro-Oeste do Brasil  
(Cerrado)**

**Edmar Antonio Mazzi**

Dissertação apresentada para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia Aplicada

**Piracicaba  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Edmar Antonio Mazzi  
Químico

Processo de ciclagem e emissão de gases de efeito estufa em reservatório  
hidrelétrico do Centro-Oeste do Brasil (Cerrado)

Orientador:  
Prof. Dr. **REYNALDO LUIZ VICTÓRIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia Aplicada

Piracicaba  
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Mazzi, Edmar Antonio

Processo de ciclagem e emissão de gases de efeito estufa em reservatório hidrelétrico do Centro-Oeste do Brasil (Cerrado) / Edmar Antonio Mazzi. - - Piracicaba, 2007.  
62 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2007.

1. Carbono 2. Dinâmica dos gases 3. Efeito estufa 4. Mudança climática I. Título

CDD 551.55

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Aos meus pais Edgar José Mazzi e Marta Pereira Mazzi que nunca me abandonaram e sempre me mostraram o caminho correto a seguir e que sempre estarão ao meu lado e que sempre amarei.

Dedico

Aos meus amados irmãos; José Luiz e Ana e a minha namorada Cristiane de Oliveira toda a ajuda e todo carinho e atenção .

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais e irmãos todo o amor e carinho nesta grande jornada da vida.

Ao meu orientador e amigo Dr. Reynaldo Luiz Victória pela grande oportunidade concedida e a confiança depositada para que fosse possível realizar este trabalho.

Ao Dr. E também orientador Ivan Bergier Tavares de Lima pela grande oportunidade e orientação e apoio para que este trabalho fosse realizado, sem a ajuda e o companheirismo jamais teria conseguido realizar este trabalho.

Aos Doutores Jean Pierre H.B. Ometto, Luiz Antonio Martinelli pela orientação, ajuda e amizade durante todos estes anos de árduo trabalho e total confiança depositada em mim durante todo esse tempo, ao Dr. Plínio B. de Camargo por toda ajuda que eu tive nos dias difíceis, e a amizade.

A técnica e amiga Maria Antonia Zambeta Perez, pois sem a interferência dela eu jamais teria conseguido iniciar minha carreira dentro deste centro de pesquisa, e agradeço todo carinho e atenção desta pessoa maravilhosa, e ao técnico Geraldo de Arruda Junior pela ajuda e amizade prestada nos difíceis dias de trabalho dentro do laboratório.

Aos Doutores e coordenadores do projeto “Balanço do Carbono” desenvolvido no INPE, Evlyn Novo, Luiz Stech, pela bolsa cedida e a oportunidade de poder estar realizando este trabalho dentro do projeto “Balanço do Carbono”.

Ao Dr. Fernando Manuel Ramos (Inpe) pelas ótimas conversas e orientação nos finais de tarde nos raros momentos de sossego no campo e nas minhas rápidas visitas ao Inpe, e ao Doutor Arcilan Trevenzoli.

Ao Dr. Marcelo Moreira pelos ensinamentos dentro do laboratório para aumentar os meus conhecimentos em espectrometria.

As Furnas Centrais Elétricas pelo apoio financeiro, e aos amigos André Cimbleis e Paulo Brum.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada (CENA/USP), pela oportunidade.

Ao Centro de Energia Nuclear de Agricultura (CENA) e ao laboratório de Ecologia Isotópica por permitirem as análises e a minha permanência.

Aos meus amigos do Laboratório de Ecologia Isotópica, Ivonne Backer, Neusa |Maria Augusti, Carolina Barisson, Jadson Dias, Alexandra Montebello, Tomás Domingues, Fabiana Fracassi, Jorge Moraes, Fátima Rasesa, Michela, Sandra Furlan, Simone Vieira, Luciana Alves, Carlos Beduschi, Yoko Ishida, Janaina do Carmo, Eráclito Neto, Juliano Groppo, Michael Keller, Alex Krush, Leonardo Martinelli, Gustavo, Marcos Scaranello, Eduardo Miranda, Gabriela Nardoto, Bethe Ravagnani, Tina, Uwe Herpin, Simoni Grilo, e estagiários que estiveram presentes durante este trabalho.

Aos meus eternos companheiros que sempre irão me fazer falta pelo resto da minha vida Jack, e Preta.

Aos meus amigos da Universidade de Juiz de Fora, Raquel, Raphaela, Nathan, Fabio Roland, ao me amigo do Instituto Internacional de Ecologia Deyves, da Universidade de Santa Maria Waterloo Pereira e todos que participaram das campanhas de Furnas.

E a todos os amigos que passaram pelo meu caminho e que seja de muita paz e alegria.

## SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1 As descrições da área do estudo.....	11
2.2 Métodos.....	13
2.2.1 A discriminação da bolha de metano.....	17
2.2.2 Qualidade de água e medidas meteorológicas.....	18
2.2.3 o tratamento dos dados.....	19
2.3 Resultados.....	22
2.3.1 A variedade sazonal.....	26
2.3.2 Março 2005.....	29
2.3.4 Agosto de 2005.....	33
2.4 Discussão.....	35
2.4.1 O relacionamento entre a local-profundidade e o gás-fluxo.....	35
2.4.2 Dinâmica de fluxos de bolhas.....	41
2.4.3 Fontes preliminares metanogênica e metanotrófica de CO <sub>2</sub> .....	45
2.4.4 Sazonalidades das fontes do carbono do fluxo do gás.....	47
3 Considerações preliminares e implicações.....	51
REFERÊNCIAS.....	53



## Resumo

Processo de ciclagem e emissão de gases de efeito estufa em reservatório hidrelétrico do centro-Oeste do Brasil (Cerrado)

Foi apresentado um sistema automatizado para monitorar fluxos de metano ( $\text{CH}_4$ ) e do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na relação da água/ar de ecossistemas aquáticos. Consiste em uma série de câmaras flutuantes dinâmicas acopladas a um analisador photo acústico infravermelho de gás. Associado os outros sensores atmosféricos e de qualidade da água, foi possível identificar os fatores atmosféricos, hidrológico e biológico que afetam emissões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  no reservatório de Corumbá (estado de Goiás), uma terra inundada antropogenica de savana. O estudo realizado em novembro 2004 e em março/agosto 2005 permitiu uma inter-correlação desobstruídos de estabelecimento da câmara, embora relações ligadas da profundidade-fluxo. Os fluxos de  $\text{CH}_4$  borbulhando médios em novembro 2004, em março e em agosto 2005 eram respectivamente  $0.05 \pm 2.19$ ,  $4 \pm 45$  e  $505 \text{ o } \pm 1192$   $\text{mg/m}^2/\text{d}$ . Para os mesmos meses, as emissões de  $\text{CH}_4$  difusivo médias foram  $17 \text{ o } \pm 6$ ,  $37 \pm 9$  e  $69 \text{ o } \pm 28$   $\text{mg/m}^2/\text{d}$ , visto que os fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  foram respectivamente  $59 \text{ o } \pm 398$ ,  $385 \pm 629$  e  $\text{ o } \pm 1466$   $1223$   $\text{mg/m}^2/\text{d}$ . Um aspecto interessante de bolhas de  $\text{CH}_4$  é a liberação repentina e grande em locais rasos e liberação do escoamento em locais profundos. Em uma base diária, a frequência e o valor de bolhas de  $\text{CH}_4$  são condicionados à oxidação durante períodos da flutuação do lago, e às mudanças totais da pressão exercidas no sedimento. Em escalas de tempo sazonal, a intensidade de bolhas de  $\text{CH}_4$  é condicionada principalmente pela disponibilidade da carcaça ao metanogêneses. As frentes frias são responsáveis pela a ruptura da estratificação (misturar), favorecendo emissões do  $\text{CO}_2$  depois da oxidação  $\text{CH}_4$ . As emissões do  $\text{CO}_2$  puderam também ser acopladas ao diel metanotrófico. Nossos resultados sugerem que as emissões de gás do efeito estufa de Corumbá estão controladas pela maior parte pelo nível de água e pela luz solar.

Palavra-chave: Dinâmica do carbono; Mudança do clima; Câmaras dinâmicas, Dinâmica borbulhando, Metanotrófico, Rede heterotrófico.

## ABSTRACT

Cycling process and emission of effect gases greenhouse in hydroelectric reservoir of the center-West of Brazil (Cerrado)

It was present an automated system for monitoring methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) fluxes at the water/air interface of aquatic ecosystems. It consists of a series of floating dynamic chambers coupled to an infrared photo acoustic gas analyzer. Associated to other atmospheric and water quality sensors, it was possible to identify atmospheric, hydrologic and biological factors affecting CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions at Corumbá reservoir (State of Goiás), a savanna anthropogenic flooded land. The study carried out in November 2004 and March/August 2005 allowed establishing clear chamber inter-correlations, although intricate depth-flux relations. Mean CH<sub>4</sub> bubbling fluxes in November 2004, March and August 2005 were respectively  $0.05 \pm 2.19$ ,  $4 \pm 45$  and  $505 \pm 1192$  mg/m<sup>2</sup>/d. For the same months, mean CH<sub>4</sub> diffusive emissions were  $17 \pm 6$ ,  $37 \pm 9$  and  $69 \pm 28$  mg/m<sup>2</sup>/d, whereas CO<sub>2</sub> diffusive fluxes were respectively  $59 \pm 398$ ,  $385 \pm 629$  and  $1466 \pm 1223$  mg/m<sup>2</sup>/d. An interesting aspect of CH<sub>4</sub> bubbling is the sudden and large release at shallow sites and seepage release at deep sites. On a daily basis, the frequency and magnitude of CH<sub>4</sub> bubbling is conditioned to oxidation during overturn periods, and to the total pressure changes exerted on the sediment. At seasonal time scales, CH<sub>4</sub> bubbling intensity is mainly conditioned by substrate availability to methanogenesis. Cold fronts are responsible for stratification rupture (mixing), favoring CO<sub>2</sub> emissions following CH<sub>4</sub> oxidation. CO<sub>2</sub> emissions might also be coupled to diel methanotrophy. Our results suggest that greenhouse gas emissions from Corumbá are largely controlled by water level and sunlight.

Keywords: Carbon dynamics; Climate change; Dynamic chambers, Bubbling dynamics, Methanotrophy, Net heterotrophy.

## 1 Introdução

O metano ( $\text{CH}_4$ ) é o composto mais estável do carbono nos ambientes anaeróbico, formado geralmente pelas reações biológicas que conduzem finalmente a mineralização da matéria orgânica (CICERONE; OREMLAND, 1988). Quando liberado à atmosfera, o metano absorve a radiação terrestre no espectro infravermelho mais eficazmente do que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), onde o resultado do aquecimento final é responsável pelo aquecimento global natural (LELIEVELD et al., 1993; SCHIMEL et al., 1996).

As investigações atuais demonstraram que os reservatórios hidrelétricos são responsáveis por uma emissão líquida de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$ , assim representando uma fração do aquecimento global antropogênicos (ST. LOUIS et al., 2000; DUCHEMIN et al., 2002; SOUMIS et al., 2004; ABRIL et al., 2005; DUCHEMIN et al., 2006; LIMA et al., 2006). As águas de superfície dos ecossistemas dos reservatórios exibem  $\text{CO}_2$  dissolvido supersaturados (COLE et al., 1994; RICHEY et al., 2002), porque a respiração alóctone da matéria orgânica excede geralmente a produção preliminar (KLING et al., 1991; JOHNSON et al., 2003). O  $\text{CO}_2$  dissolvido pôde também originar do uso bacteriano dos compostos de baixo peso molecular derivados do photo-oxidação da matéria orgânica alóctone (COLE 1999). Os reservatórios são conhecidos fontes de  $\text{CH}_4$  (CICERONE; OREMLAND, 1988; WHALEN, 2005).

Os reservatórios antropogênicos, incluindo o armazenamento multifacetado da água, podendo certamente agir como fontes de  $\text{CH}_4$  (e  $\text{CO}_2$ ) desde os últimos cinco mil anos (RUDDIMAN, 2003; RUDDIMAN et al., 2005). Uma estimativa recente

sugere que as emissões brutas de CH<sub>4</sub> antropogênico estão variando atualmente entre 22 e 82 Tg (LIMA et al., 2006). Tais quantidade aumentam 4 vezes as emissões de CH<sub>4</sub> nas bacia Amazônica até 500 m acima do nível de mar ( MELACK et al., 2004 ), despeito das incertezas de emissões na vertente das turbinas (FEARNSIDE, 2002; 2004; ROSA et al., 2004; ABRIL et al., 2005) A matéria orgânica dissolvida pode deixar solos terrestres e biomassa como um composto biológica refratário. Em cima da exposição à luz solar em um ambiente aquático, esta matéria orgânica originadas submete-se a alguma degradação fotolítica e torna-se mais lábil (COLE, 1999).

Por este processo, a evasão do carbono pode exceder o aterro do carbono, fazendo o ambiente aquático obter um lucro líquido de fontes do carbono à atmosfera (HANSON et al., 2004). Por outro lado, Stallard (1998) reivindica que a sedimentação do carbono em reservatórios poderia representar um dissipador líquido do carbono novo. Além disso, Keppler et al. (2006) demonstraram que as florestas antropogênicas inundadas estariam agindo anteriormente como uma fonte do metano atmosférico. Longe de resolver emissões líquidas intrínsecas do carbono, este trabalho aponta fornecer introspecções novas nos gabaritos e nos fatores que afetam a variabilidade de bolhas de CH<sub>4</sub> e difusões antropogenica de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> dos reservatórios nos trópicos. Neste trabalho foi usada amostragem contínua do fluxo do gás e de outras variáveis atmosférica, hidrológica e de qualidade da água, fazendo ser possível distinguir fluxos do dia e da noite, e identificar os fatores principais que condicionam a troca do gás no sistema água-ar em escalas de tempo distintas.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 As descrições da área do estudo**

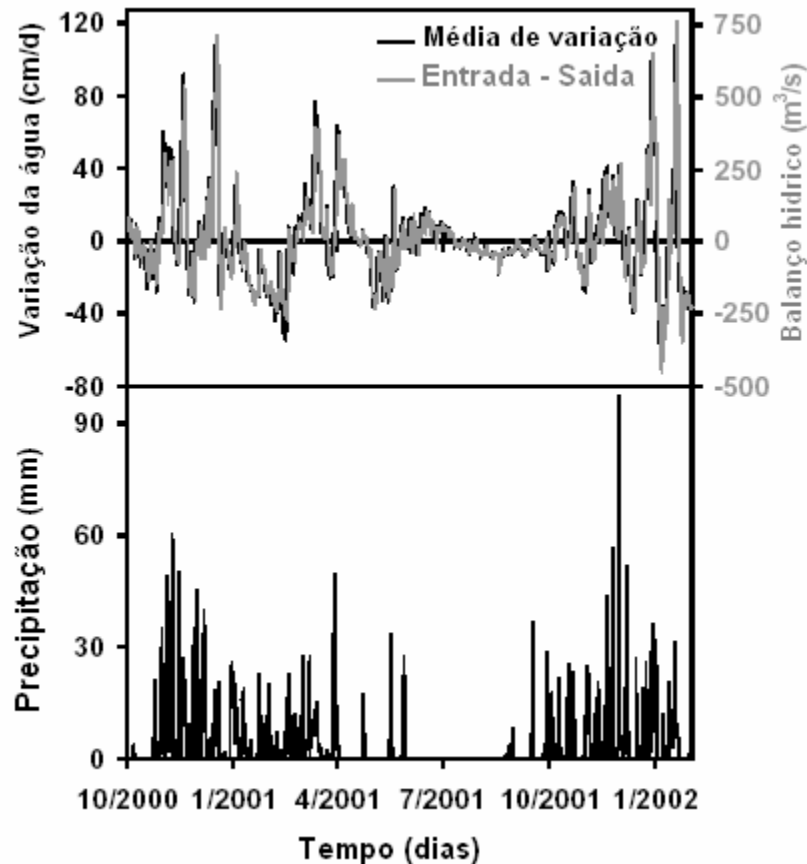
Situado no estado de Goiás, o reservatório hidrelétrico qual foi estudado, foi construído no rio de Corumbá, que constituem uma filial importante do rio de Parnaíba na bacia do rio Paraná. Além da hidro-energia, o reservatório fornece atividades de lazer e benefícios do turismo à cidade de Caldas Novas. Diferentemente de Cerrado seco usual (savanas) no centro Oeste do Brasil, o rio Corumbá drena 27.800 km<sup>2</sup> de uma savana temperada húmido.

A temperatura média anual é 23 °C aproximadamente, variando entre 15 °C e 35°C, entretanto as médias da precipitação anual são em torno de 1500 milímetros, concentrados durante o verão. Furnas Centrais Elétricas S.A. terminou de encher o reservatório em 1997, que alcança 65 km<sup>2</sup> no nível de operação normal (figura 1). Três turbinas de modelo Francis geram 375 MW de energia. A profundidade máxima da água varia durante todo o ano na escala de 35 e 45 m de profundidade



Figura 1 - Reservatório de Corumbá no estado de Goiás local da amostragem do gás na zona litoral

Usando dados de 2000/2001, (figura 2) ilustra que a flutuação do nível de água (cm/d) está acoplada firmemente ao contrapeso da água do reservatório ( $m^3/s$ ), isto é, a diferença entre a cheia (precipitação) e a flutuação do nível de água dos controles da saída do fluxo das águas (turbinas e vertedouros) em uma base diária e sazonal. A área do estudo localiza na boca do rio de Pirapetinga. Em figura 1, o círculo cinzento indica o local de medidas do fluxo do gás ( $17^{\circ}45'56'' S$ ,  $48^{\circ}34'06'' W$ ) e os pontos pretos do círculo ao local de medidas atmosféricas e limnológico ( $17^{\circ}46'40'' S$ ,  $48^{\circ}33'39'' W$ ).



**Figura 2** - Características hidrodinâmicas anuais do reservatório de Corumbá.

## 2.2 Métodos

As medidas do fluxo difusivo das medidas do fluxo do gás de efeito estufa foram feitas convencionalmente pelo modelo de camada limite ou pelas câmaras estáticas fechadas (LISS; SLATER, 1974; DUCHEMIN et al., 1995). Para uma revisão crítica nestes métodos ver (MOORE; ROULET 1991), (DUCHEMIN et al. 1999) e (MATTEWS et al. 2003). Os fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$  foram medidos freqüentemente pela distribuição 24-h em funis invertidos (KELLER; STALLARD, 1994; DUCHEMIN et al., 2000).

O trabalho mais extensivo que aplica estas técnicas convencionais foi feito na Guyana francês, no reservatório de Petit Saut (ABRIL et al., 2005; DELMAS et al., 2005). Neste trabalho é apresentado um sistema baseado em câmaras dinâmicas (do fluxo de ar) para estudar o acoplamento entre os fluxos  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  às variáveis do clima, hidrológicos e biológicos.

As câmaras dinâmicas foram usadas extensamente em medidas do refluxo do gás de solo/ar (CARPO; LINDBERG, 1998; FANG; MONCRIEFF, 1998; SUBKE et al., 2003). O conceito básico é o fluxo de ar contínuo através da câmara que permite a amostragem instantânea do fluxo, dependendo da técnica da medida. Fang e Moncrieff (1998) mostraram que os projetos dinâmicos impróprios da câmara puderam resultar na superestimação interno negativo do refluxo da pressão e do gás. Quanto para as câmaras estáticas, as paredes de câmaras dinâmicas excluem a influência direta do vento. Não obstante, sob circunstâncias controladas, as câmaras dinâmicas fornecem uns fluxos mais realísticos do gás do que câmaras estáticas (NAY et al., 1994).

Adicionalmente, as vantagens principais são a monitoramento contínuo durante o dia e a noite, e a habilidade para capturar eventos de bolhas repentinos em escalas de tempo curtos. Tanto quanto nós sabemos, as câmaras dinâmicas automatizadas e a detecção fotoacústica infravermelha em relações de água/ar foram propostas originalmente em Lima et al. (2005), inspirados em 1998 nas câmaras dinâmicas de Fang e de Moncrieff. As aproximações análogas podem ser vistas em Yamulki e Jarvis (1999) e Christensen et al. (2003a).





Figura 3 - posicionamento das câmaras nas coletas de março e agosto

Durante 21-24 novembro 2004 e 12-19 março 2005, quatro câmaras dinâmicas flutuantes foram colocadas em quatro locais de profundidades diferentes através do perfil de gradiente de profundidade do lago, perto da margem da represa para umas posições mais profundas (veja a posição em figura 1). As profundidades dos locais da amostragem eram 1.5, 3.0, 3.5 e 6.0 m em novembro 2004, e 0.4, 2.0, 4.0 e 6.0 em março 2005. As câmaras feitas de borracha eram cilíndricas com diâmetro 30-30-cm e altura 30-30-cm, 10 cm de que estão abaixo da superfície da água como uma saia. A placa superior é coberta com a película de Mylar® para minimizar o aumento da temperatura devido à luz solar. Um conector rápido foi colocado na placa superior para bombear o ar atmosférico do interior das câmaras. De lado ao conector rápido, uma tubulação da altura 25-25-cm e o diâmetro 5-5-cm trabalham como um respiro de tomada (figura 4). Tal projeto permite o fluxo de ar contínuo dentro da câmara, minimizando efeitos da temperatura (aumento) e da pressão (diminuição). Uma bomba de Charles Austen Capex-V2® foi conectada a um volume inoperante para dirigir o ar atmosférico em uma taxa constante do fluxo de ar do ca. 300 ml/min a

quatro tubos de nylon com 90-m e o diâmetro de 2,5-milímetros interno conectados a cada câmara. Um outro jogo similar da tubulação foi usado para retirar o gás nas tomadas da câmara. A amostragem do gás da tomada foi feita através da bomba interna do analisador do gás, ajudada por uma outra da marca Charles Austen Capex-V2® (figura 4).

No período de 23-28 agosto 2005, o sistema da amostragem foi melhorado aumentando o número das câmaras e de adaptações novas, tais como válvulas do fluxo de ar e recálculo das dimensões para fazer o trabalho de campo e facilitar o transporte. Neste período, sete câmaras dinâmicas foram colocadas em locais da amostragem com profundidades de 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 9.0 e 10 m. O projeto da câmara foi mudado a uma caixa retangular das dimensões 15 x 30 x 60 cm, com uma parte submersa de 7.5 cm abaixo da superfície da água. Uma bomba Capex-V2® dirige o ar atmosférico através de uma única tubulação interna de 150-m e de diâmetro de 17milímetro (figura 4). Os conectores de "T" na tubulação separam o ar, e as válvulas nas câmaras foram usadas para regular a taxa do fluxo de ar no ca. 400 ml/min (figura 4). Sete tubos de nylon do diâmetro 4-milímetro interno de 150-m foram usados para coletar gás perto dos respiros de tomada à instrumentação de medição. Um analisador fotoacústico infravermelho do gás (Innova 1312®) foi usado para medir as concentrações do CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. O instrumento foi calibrado, incluindo uma correção para o vapor de água. Além, um tubo de Nafion® foi usado para controlar a interferência da umidade em medidas do gás (LIMA et al., 2005a). Um multiplexer (Innova 1309®) comutou automaticamente entre tomadas da câmara ao Innova 1312®. O fluxo do gás ( $F$ , em mg/m<sup>2</sup>/d) foi calculado onde **A** corresponde à área da

troca da superfície da água ( $m^2$ ),  $f$  ao fluxo de ar ( $m^3/d$ ) e  $C_o$  e  $C_i$  respectivamente às concentrações da tomada e da entrada. A concentração expressa em ( $mg/m^3$ ) pelo Innova 1312<sup>®</sup> supõem a temperatura constante ( $25^\circ C$ ), entretantes o multiplexer corrigido para a pressão de ar real. Para cada câmara, os fluxos instantâneos do gás foram medidos nos ciclos de  $\sim 10$  minutos,  $\sim 5.0$  minutos em novembro 2004 e março 2005 e  $\sim 7.5$  em agosto 2005.

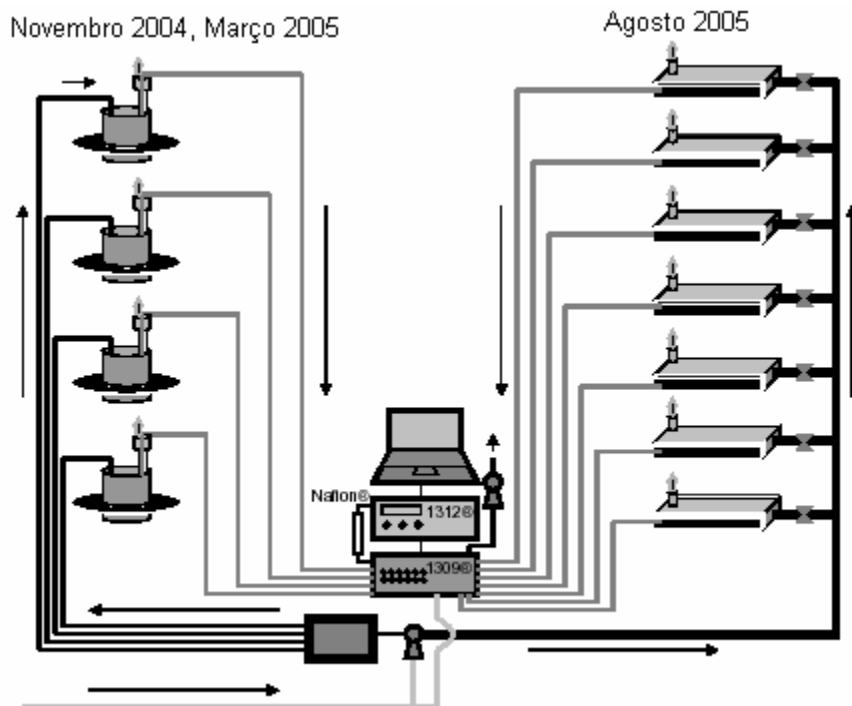


Figura 4 - projetos experimentais em novembro 2004 e em março 2005 (na esquerda) e em agosto 2005 (na direita)

### 2.2.1 A discriminação da bolha de metano

A fim de discriminar as bolhas de  $CH_4$  dos fluxos difusivo, um fluxo do ponto inicial foi determinado. Este ponto inicial define uma linha de base arbitrária, acima de

que os fluxos da bolha são filtrados para fora (CHRISTENSEN et al., 2003a). Os pontos iniciais acima dos fluxos difusivo médios da linha de base de CH<sub>4</sub> foram ajustados a 60 mg/m<sup>2</sup>/d para março 2005 e a 120 mg/m<sup>2</sup>/d para agosto 2005.

Em novembro 2004 observou-se somente um único evento da bolha. Abaixo do ponto inicial, o fluxo borbulhado foi considerado baixo e difícil de caracterizar.

### **2.2.2 Qualidade de água e medidas meteorológicas.**

A qualidade de água e as medidas atmosféricas e limnológica dos dados meteorológicos foram executadas com um sistema de monitoramento automatizado instalado na zona pelágica (veja figura 1). O sistema de monitoração ambiental **(SIMA)** consiste em uma bóia com uma torre flutuante ancorada, sensores, datalogger, e bateria e uma antena telemétrica de Argos<sup>®</sup> capaz de transmitir dados diversos com ligações ao satélite (STEVENSON et al., 1993). As séries de tempo são freqüentemente adquiridas de hora em hora o ângulo satélites diferente da vista durante todo o dia. Uma informação mais adicional pode ser obtida em Lorenzzetti et al. (2005) e Stech et al. (2006).

As variáveis consideradas neste trabalho eram velocidades de vento, irradiação solar, temperatura de ar e pressão. Em dois medidores abaixo da superfície da água, uma sonda YSI-6920<sup>®</sup> adquiriu a temperatura de água, o pH, o oxigênio dissolvido, a clorofila a e a turbidez. As calibrações do sensor foram feitas um dia antes do começo da medida do gás.

Em agosto 2005, em turbidez, em pH e em clorofila alguns dados foram rejeitados devido o mau funcionamento ou a calibração imprópria do sensor. O SIMA

(FIGURA 8) começou a operar em janeiro 2005. Conseqüentemente, em novembro 2004, somente a temperatura e a pressão atmosféricas foram obtidas com um datalogger de PHTemp101 Madgetech®. Dispusemos também de dados diários e de horário do nível de água na represa.

As séries de tempo de hora em hora do nível de água foram transformadas para sedimentar a taxa da pressão de mudança de acordo com  $\Delta p/\Delta t = \rho g (\Delta z/\Delta t) + (\Delta p_a/\Delta t)$ , onde  $\rho$ ,  $g$ ,  $\Delta z$ , e as respectivas densidades da água, a aceleração gravitacional, à mudança do nível de água, e à mudança da pressão atmosférica.



Figura 5- Sima Sistema de Monitoramento Ambiental com periféricos para análise limnológicas

### 2.2.3 O tratamento dos dados

Os dados estatísticos paramétricos e não paramétrico da análise foram usados para verificar diferenças em fluxos médios do gás entre os locais da amostragem de

profundidades distintas. A análise de variações (**ANOVA**) e o teste de Tukey foram usados para o  $\text{CO}_2$  e os fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo, visto que o teste de Kruskal-Wallis foi usado para os pontos de bolhas de  $\text{CH}_4$ . Para verificar as correlações que envolvem fluxos e dados da água qualidade meteorológica, as séries de tempo do gás foram fundidas para compor a série média do fluxo.

O procedimento teve do mesmo modo computar a difusão média do  $\text{CO}_2$  e a série de bolhas de  $\text{CH}_4$ . Mais tarde, cada vez que a série foi ajustada à mesma etapa do comprimento e do tempo por um algoritmo cúbico da ranhura (PRESS et al., 2002a).

Cuidado foi tomado reparando a etapa do tempo de acordo com ciclos de amostragem do gás em cada período da medida. Após ter igualado o comprimento e a definição temporal, somente as séries do fluxo do gás interpolado mais para encher acima as aberturas causadas por imprevistos experimentais, tais como os tubos desconectados, a água dentro dos tubos, a falha de energia, etc. As aberturas foram completadas com os valores medianos de todas as medidas feitas na hora da abertura (mostrada como os pontos cinzentos na série de tempo nas figuras 5, 7, 8 e Nove).

À exceção da série de tempo de bolha de metano, as flutuações de alta frequência foram removidas pela decomposição singular do valor (PRESS et al., 2002b). A matriz retardada da covariância foi construída processando uma matriz de trás pra frente da predição de 40 sinais harmônica, restaurando somente os dois primeiros valores da frequência baixa (harmônicas). As correlações entre séries de

tempo processadas foram feitas por meio de correlações da ordem rank de Pearson ou de spearman, dependendo em cima da distribuição dos dados.

Os t-testes do estudo eram séries de tempo processadas e executadas (à exceção da irradiação solar) para comparar diferenças médias com o respeito às medidas de dia/noite, e para discriminar também mais cedo diferenças médias e após uma frente fria chuvosa em março 2005.



**Chegada da frente fria Março de 2005**

FIGURA 6 – Chegada da frente fria e a disposição das câmaras dentro do reservatório no mês de março.

Para a série de tempo  $\text{CH}_4$  borbulhando, o teste de Mann-Mann-Whitney **U** foi usado preferivelmente. O fotoperíodo (dia) foi suposto para medir 6:00 a 18:00, tempo local, quando o período restante do dia foi considerado como o tempo noturno.

### 2.3 Resultados

As medidas do fluxo do gás da associação da Profundidade-fluxo das câmaras desdobradas no mesmo período mostraram uma forte inter-relação. Por exemplo, em novembro 2004, as correlações da intercâmara variaram entre 0.69 ppm a 0.89 ppm ( $p < 0.0001$ ) para os fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo e 0.83 ppm a 0.94 ppm ( $p < 0.0001$ ) para fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$ . Como por exemplo, as bolhas de  $\text{CH}_4$ , eram possíveis verificar o acoplamento espacial e temporal. Figura 7 mostra os fluxos  $\text{CH}_4$  totais (difusivo + borbulhado) que ocorrem em quatro profundidades distintas da água durante três dias sucessivos de março 2005.

Duas modalidades de processos de bolhas são distintas, i) um ponto grande repentino (liberação de bolha) geralmente em locais rasos e ii) um detalhe de bolhas exponencial diminuindo aos locais mais profundos. Em locais profundos, uma parte do escoamento do metano do sedimento (escapamento) desenvolvido subsequente a algum disparado mecânico. O escoamento pode resultar de uma pressão hidrostática maior, criando a resistência no sedimento perturbado para uma liberação de bolha completa do metano. Além disso, as bolhas de metano não são completamente estocásticas.

Quando as liberações das bolhas de metano puderam faltar teste padrões temporal, as liberações do escoamento seguiram um ciclo diário, que iniciasse tarde na noite em aproximadamente 23h00min e terminasse em 08h00min-10h00min na seguinte manhã (figura 4). O projeto experimental reservou também para verificar o papel possível da profundidade da água em fluxos modulando o gás de efeito estufa



através da relação de água/ar. A tabela 1 fornece estatística descritiva dos fluxos medidos em novembro 2004, em março e agosto 2005. As variações similares permitiram o uso de o aparelho ANOVA distinguir fluxos difusivo médios do gás de acordo com a profundidade dos locais da amostragem. Difusão  $\text{CH}_4$  média variada significativamente com profundidades do local por todos os períodos de amostragem (ANOVA,  $p < 0.0001$ ). Entretanto, o teste de Tukey não evidenciou todas as diferenças significativas entre a difusão  $\text{CH}_4$  média para as câmaras desdobradas em locais com profundidades de 3.0 e 3.5 m em novembro 2004 ( $p < 0.1509$ ).

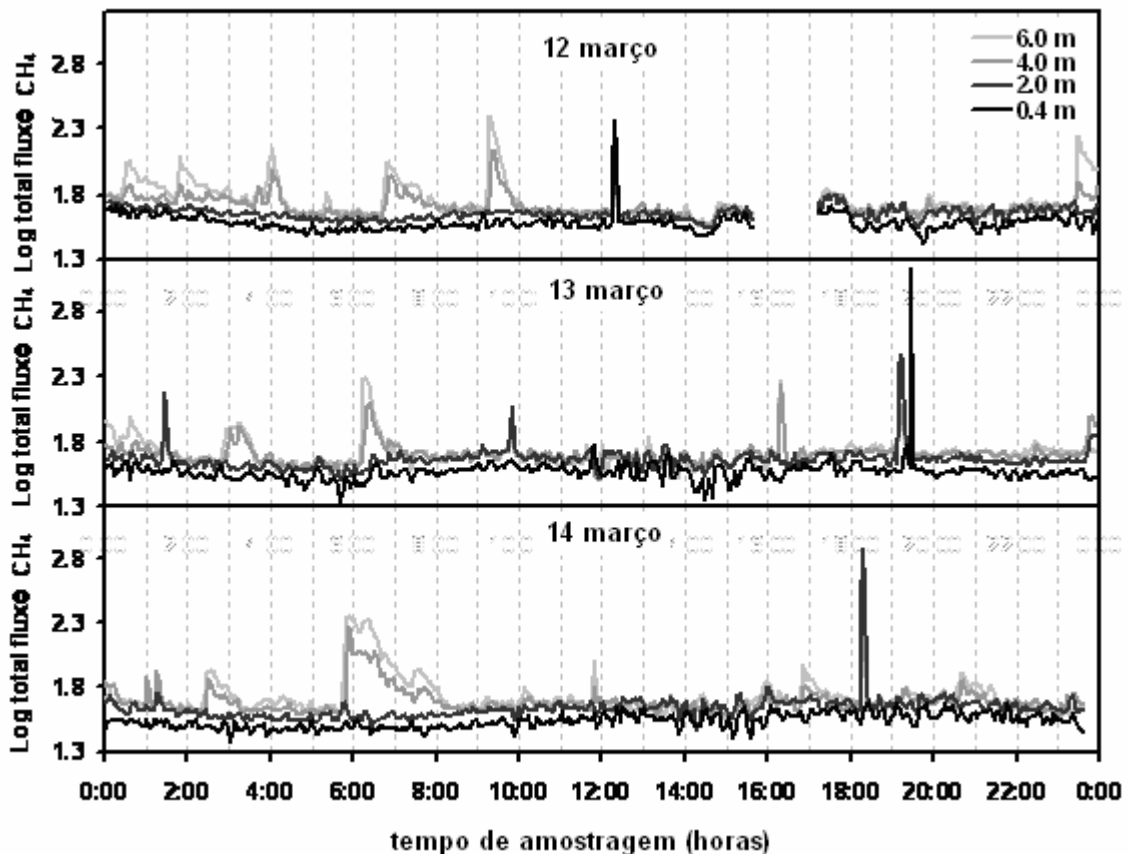


Figura 7 - Três dias sucessivos de bolhas de metano em locais rasos e profundos. Percebido pontos grandes e repentinos no escoamento raso que borbulha em locais profundos

Em março 2005, os fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo médios em todas as profundidades eram significativamente diferentes (teste de Tukey,  $p < 0.0001$ ). No fluxo difusivo significativo do meio  $\text{CH}_4$  de agosto 2005 as diferenças entre câmaras ocorreram somente em alguns casos, em relação à profundidade do local da amostragem (teste de Tukey). Para a difusão do  $\text{CO}_2$ , ANOVA revelou também diferenças médias significativas do fluxo entre profundidades, respectivamente para novembro 2004 ( $p < 0.0110$ ), março 2005 ( $p < 0.0001$ ), e agosto 2005 ( $p < 0.0001$ ). Não obstante, em novembro 2004, a diferença média significativa foi encontrada entre 1.5 e 3.5 m (teste de Tukey,  $p < 0.0051$ ), visto que em março 2005 a diferença média não era significativa entre 4 e 6 m (teste de Tukey,  $p < 0.9675$ ). Quanto para a difusão do  $\text{CH}_4$ , as diferenças médias do fluxo do  $\text{CO}_2$  entre câmaras eram complicadas em agosto (teste de Tukey). Em novembro 2004, um único evento de bolha de  $95.1 \text{ mg/m}^2/\text{d}$  foi observado na câmara desdobrada na profundidade da água de 3.5 m (tabela 1). Os fluxos de bolhas de metano ocorreram predominantemente durante março e agosto 2005. O teste de Kruskal-Wallis evidenciou diferenças significativas nos fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$  em profundidades distintas em março e em agosto 2005 (ambos  $p < 0.0001$ ). No geral, nenhuma relação consistente entre o fluxo do gás e a profundidade foi verificada. A difusão do metano em novembro relacionou-se inversamente à profundidade, visto que, em março de 2005, a difusão  $\text{CH}_4$  aumentou com a profundidade.

Difusão do  $\text{CO}_2$  aumentada com profundidade da água em novembro 2004 e em março 2005 (tabela 1). A relação entre a profundidade e o  $\text{CO}_2$  e os fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo eram mesmo mais intrínsecos em agosto 2005. Além disso, a emissão média

de bolhas de metano, fb, tinha-se levantado linear até z = uma profundidade de 6 m em março ( $fb = 1.22z + 0.45$ ,  $r^2 = 0.99$ ), contudo esta ocorrência não foi percebida em agosto (tabela 1).

**Tabela 1** – Variabilidade do gás de efeito estufa e fluxo de bolha no reservatório de Corumbá de acordo com a profundidade amostrada no período.

Profundidade das amostragens	Fluxo do metano difusivo		Número de observações		Fluxo de metano em bolhas		Número de eventos de bolhas	Número observado	Fluxo de CO <sub>2</sub> difusivo		Número de observações
	mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d	N	mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d	N	mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d	N			mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d	N	
1.5 m	21 ± 6	6	0.0	472	0.0	0	0	472	13 ± 390	472	
3.0 m	18 ± 6	6	0.0	472	0.0	0	0	472	63 ± 412	472	
3.5 m	17 ± 8	8	0.2 ± 4.0*	471	0.2 ± 4.0*	1	1	472	98 ± 406	472	
6.0 m	14 ± 5	5	0.0	472	0.0	0	0	472	64 ± 378	472	
3.5 m	17 ± 6	6	0.05 ± 2.19		0.05 ± 2.19				59 ± 398		
0.4 m	32 ± 7	7	1 ± 31	1981	1 ± 31	6	6	1987	186 ± 546	1987	
2.0 m	37 ± 9	9	3 ± 74	1972	3 ± 74	15	15	1987	379 ± 597	1987	
4.0 m	41 ± 9	9	5 ± 32	1863	5 ± 32	124	124	1987	482 ± 651	1987	
6.0 m	38 ± 9	9	8 ± 29	1802	8 ± 29	185	185	1987	491 ± 666	1987	
3.1 m	37 ± 9	9	4.4 ± 45		4.4 ± 45				385 ± 629		
1.0 m	57 ± 26	26	307.8 ± 664.8	389	307.8 ± 664.8	300	300	689	1608 ± 1407	689	
2.0 m	78 ± 25	25	1435 ± 2468	66	1435 ± 2468	623	623	689	1571 ± 1294	689	
4.0 m	86 ± 24	24	336.0 ± 401.1	136	336.0 ± 401.1	553	553	689	1153 ± 1056	689	
6.0 m	85 ± 26	26	421.8 ± 470.7	93	421.8 ± 470.7	596	596	689	1527 ± 1263	689	
8.0 m	76 ± 25	25	214.1 ± 331.9	258	214.1 ± 331.9	431	431	689	1463 ± 1034	689	
9.0 m	65 ± 26	26	331.0 ± 1198	345	331.0 ± 1198	344	344	689	1378 ± 1256	689	
10 m	72 ± 27	27	492.3 ± 678.6	155	492.3 ± 678.6	534	534	689	1561 ± 1148	689	
7.1 m	69 ± 28	28	505.4 ± 1192		505.4 ± 1192				1466 ± 1223		

\* Observado apenas um único evento de bolha de 95.1 mgCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/d

### 3.1 A variedade sazonal

Este padrão sazonal das emissões **A** de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> de bolhas e de difusão do gás é evidente de novembro 2004 a agosto 2005 (tabela 1). Os fluxos CH<sub>4</sub> difusivo médios em novembro 2004, em março e em agosto 2005 eram  $17 \pm 6.4$ ,  $37 \pm 9$  e  $69 \pm 28$  mg/m<sup>2</sup>/d, respectivamente, enquanto que para o CO<sub>2</sub> eram  $59 \pm 398$ ,  $385 \pm 629$  e  $1466 \pm 1223$  mg/m<sup>2</sup>/d, respectivamente. Para os mesmos meses, os fluxos de bolhas de CH<sub>4</sub> médios eram respectivamente ( $0.05 \pm 2$ ,  $4 \pm 45$  e  $505 \pm 1192$  mg/m<sup>2</sup>/d). A emissão de bolhas de CO<sub>2</sub> era insignificante.

As séries temporais processadas obtidas em novembro 2004 são ilustradas na figura 5. De acordo com a tendência linear, a temperatura de ar variou de 15°C a 21°C em novembro de 2004, devido ao aquecimento do ar gradual. O CO<sub>2</sub> e a difusão do metano exibiram um ligeiro aumento, concomitante com temperatura de ar. As correlações com temperatura de ar eram positivas no exemplo da difusão do CO<sub>2</sub> negativo para a difusão CH<sub>4</sub> (tabela 2). Pelo contraste, a mudança da pressão total exercida no sedimento declinou linearmente em uma taxa que varia de 0.009 a -0.026 mbar/min.

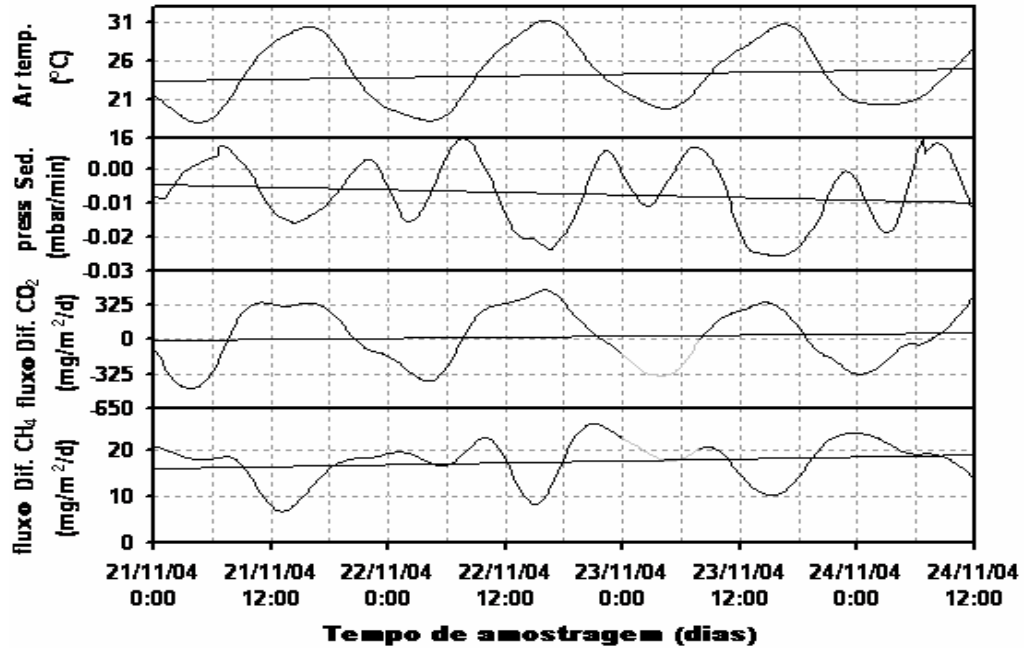


Figura 8 - A variabilidade diária dos parâmetros mediu em novembro 2004. As linhas retas representam tendências lineares. As curvas cinzentas indicam os dados interpolados devido à falha de sistema

Embora oposto, as correlações com mudança da pressão do sedimento foram significativas para difusões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  (tabela 2). Fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  correlacionados inversamente (tabela 2), como fluxos do  $\text{CO}_2$  era mais elevada e  $\text{CH}_4$  mais baixo durante o dia (tabela 3). Os t-testes do estudo mostraram que todas as variáveis médias eram significativamente diferentes entre o dia e a noite (tabela 3). Durante a noite, os fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  aumentaram por 33% a absorção do  $\text{CO}_2$  prevaleceu.

## 2.3.2 MARÇO 2005

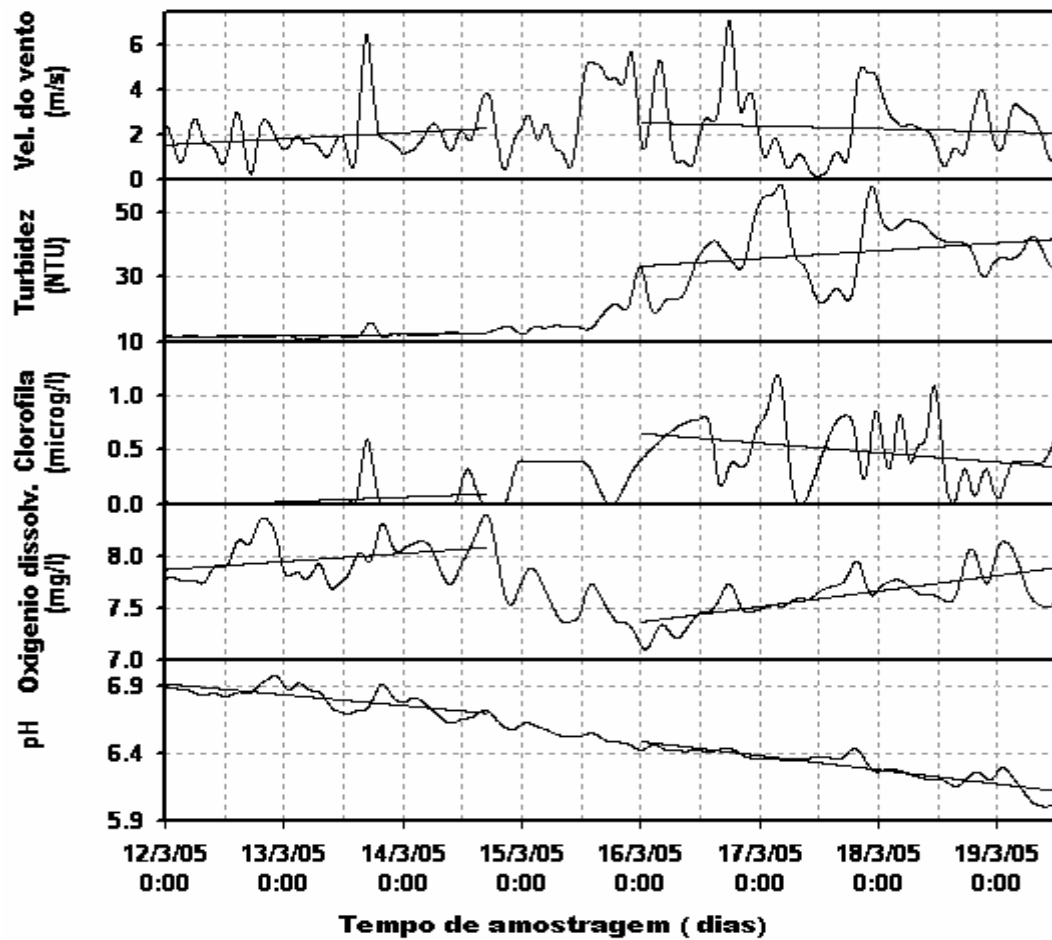


Figura 9 - A variabilidade diária da velocidade de vento e de parâmetros limnológica medido em março 2005. As linhas retas representam as tendências lineares divididas em períodos previamente e após a frente fria.

As séries temporais dos dados de obtidas em março 2005 são ilustradas em figuras 6 e 7. Um "limite de faturamento" aparece completamente claramente entre março para todas as séries de tempo. Este limite de faturamento é relacionado provavelmente a uma frente fria chuvosa que chega das regiões do sul. Antes do desenvolvimento completo da frente fria, as velocidades de vento estavam predominantemente abaixo de 3 m/s (figura 6). Após a frente fria, a frequência da velocidade de vento foram maiores que 3 m/s um aumento notável. O vento

transmite a energia cinética à coluna da água, precedente do rompimento da estabilidade aquática, como refletido principalmente por mudanças na turbidez e na concentração de clorofila (figura 6). Após passagem da frente fria, a turbidez e a clorofila tiveram um aumento, quando oxigênio foi redistribuído dentro da coluna da água. Entre março de 2005, um aumento na alcalinidade (+16%) e o oxigênio dissolvido (+66%) ocorreram no hipolimnio (Dados UFJF). Como a concentração de clorofila aumentou os níveis do oxigênio aumentaram (figura 6). Antes da frente fria, a temperatura de ar estava caindo diariamente em média  $^{\circ}\text{C} -0.4$  (figura 10).

Depois da frente fria, a temperatura de ar média permaneceu relativamente constante, aproximadamente  $23^{\circ}\text{C}$ . A temperatura de água estava caindo em média de  $-0.2^{\circ}\text{C}$  por dia antes da frente fria, a temperatura média era em torno de  $27.0^{\circ}\text{C}$  e  $27.5^{\circ}\text{C}$  restante após a frente fria. Devido a alguma formação de nuvem, a irradiação solar diminuiu ligeiramente (figura 10). A pressão do sedimento estava declinando um tanto antes da frente fria, aumentada imediatamente depois devido ao acúmulo da água de chuva. Anote que a intensidade e a frequência borbulhando ambos diminuíram drásticas, quando a mudança na pressão do sedimento aumentou após a passagem da frente fria. As diferenças entre meios variáveis antes e depois da passagem, eram todas estatisticamente significativas (tabela 4). Este também era o caso entre o dia e os períodos da luz, excepcionalmente para a clorofila a (t-teste, p teste,  $p < 0.1764$ ) e fluxo  $\text{CH}_4$  borbulhado (teste de Mann-Mann-Whitney,  $p < 0.3243$ , tabela 4) que segue a frente fria.



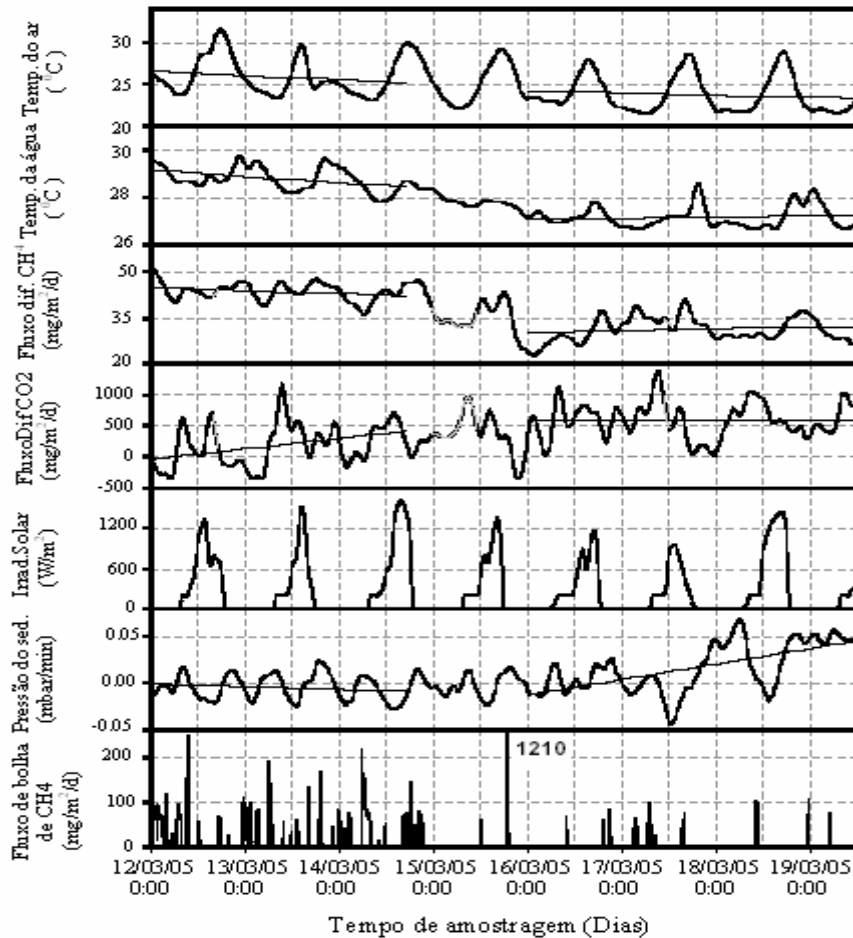


Figura 10 - A variabilidade diária de parâmetros do tempo, a hidrológica e do gás do fluxo médio em março 2005. O número 1210 indica um fluxo de bolha médio da escala do excesso. As linhas retas representam as tendências lineares divididas nos períodos

A velocidade do vento foi correlacionada inversa ao  $\text{CH}_4$  e os fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$ , bem como o  $\text{CH}_4$  borbulhado (tabela 2). As pressões do sedimento foram correlacionadas e inversas aos fluxos de  $\text{CH}_4$ , quando diretamente aos fluxos difusivo correlacionados do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). As radiações solares foram correlacionadas na maior parte aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). Níveis do oxigênio correlacionados positivamente aos fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  (tabela 2). O pH foi relacionado diretamente a  $\text{CH}_4$  e relacionado inversa aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). Similarmente à temperatura de ar, àquela correlacionadas positivamente a  $\text{CH}_4$  e inversa aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$ , à temperatura de água

correlacionada diretamente a  $\text{CH}_4$  e inversa aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). Provavelmente aos fluxos difusivo de novembro 2004, de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  relacionados inversa (tabela 2).

**Tabela 2** - Correlação entre as variabilidades adquiridas no reservatório de Corumbá.

	Novembro 2004		Março 2005			Agosto 2005		
	Fluxo difusivo do $\text{CH}_4$ <sup>a</sup>	Fluxo difusivo do $\text{CO}_2$ <sup>a</sup>	Fluxo difusivo do $\text{CH}_4$ <sup>a</sup>	Fluxo de bolhas De $\text{CH}_4$ <sup>b</sup>	Fluxo difusivo do $\text{CO}_2$ <sup>a</sup>	Fluxo difusivo do $\text{CH}_4$ <sup>a</sup>	Fluxo de bolhas De $\text{CH}_4$ <sup>b</sup>	Fluxo difusivo do $\text{CO}_2$ <sup>a</sup>
Velocidade do vento <sup>a</sup>	-	-	-0.14	-0.13	-0.19	-0.06 <sup>c</sup>	-0.05 <sup>c</sup>	0.03 <sup>c</sup>
Temperatura do ar <sup>a</sup>	-0.61	0.92	0.50	0.07 <sup>c</sup>	-0.30	0.38	0.16	0.46
Temperatura da água <sup>a</sup>	-	-	0.80	0.32	-0.63	0.57	-0.01 <sup>c</sup>	-0.05 <sup>c</sup>
Radiação solar <sup>b</sup>	-	-	0.04 <sup>c</sup>	-0.14	0.42	-0.04 <sup>c</sup>	0.19	0.65
Oxigenio dissolvido <sup>a</sup>	-	-	0.58	0.18	0.23	-	-	-
pH <sup>a</sup>	-	-	0.79	0.32	-0.57	-	-	-
Turbidez <sup>b</sup>	-	-	-0.73	-0.31	0.51	-	-	-
Clorofila a <sup>b</sup>	-	-	-0.68	-0.32	0.44	-	-	-
Varição na pressão do sedimento <sup>a</sup>	0.54	-0.42	-0.34	-0.11	0.14	0.20	-0.15	-0.52
Fluxo difusivo do $\text{CO}_2$ <sup>a</sup>	-0.59	-	-0.41	-	-	0.04 <sup>c</sup>	-	-

<sup>a</sup> Correlação de Pearson, nível significativo  $p < 0.0001$

<sup>b</sup> Correlação de Spearman, nível significativo  $p < 0.0001$

<sup>c</sup> Não significativo

### 2.3.4 Agosto de 2005

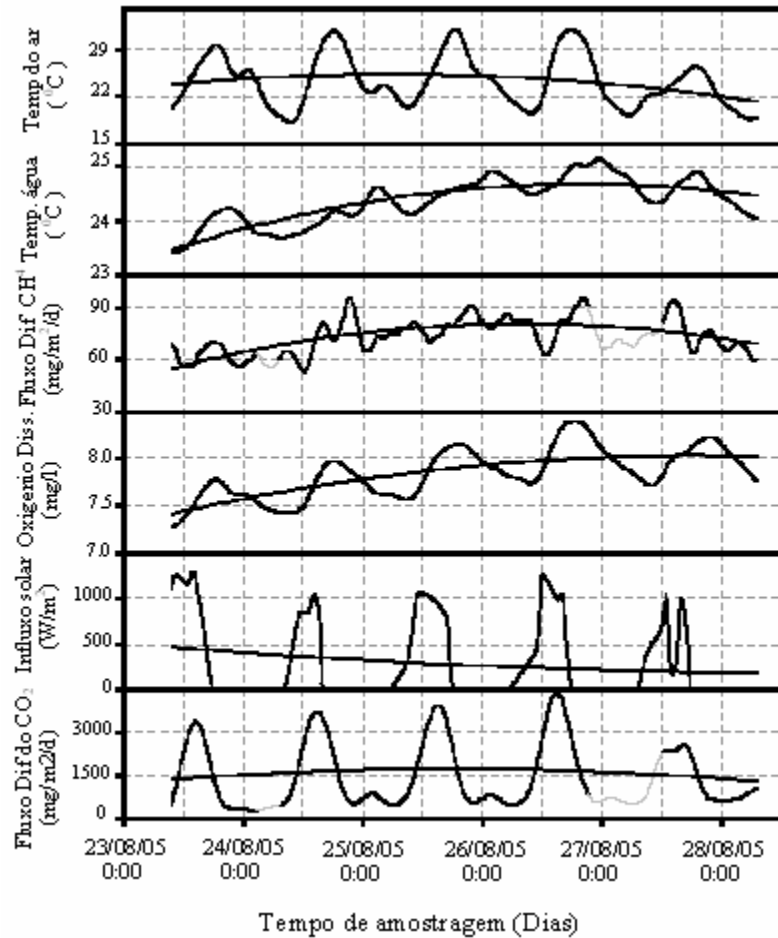


Figura 11 - A variabilidade diária de parâmetros do tempo, os hidrológicos e do gás do fluxo mediado em agosto 2005. As curvas representam segundas tendências da ordem. As curvas cinzas indicam os dados interpolados devido à falha de sistema.

A série de tempo obtida em agosto 2005 é ilustrada em figuras 11 e 12. As temperaturas da água e de ar correlacionado com oxigênio dissolvido e fluxos difusivos de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$ . Perceba na figura 11 que as variáveis seguiram uma segunda tendência da ordem. As velocidades de vento eram geralmente mais baixas do que aquela observada em março 2005. Em 12:00 agosto, a velocidade de vento aumentou de 1 a 3 m/s, quando a água da chuva neutralizou a diminuição anterior na pressão do sedimento (figura 12).

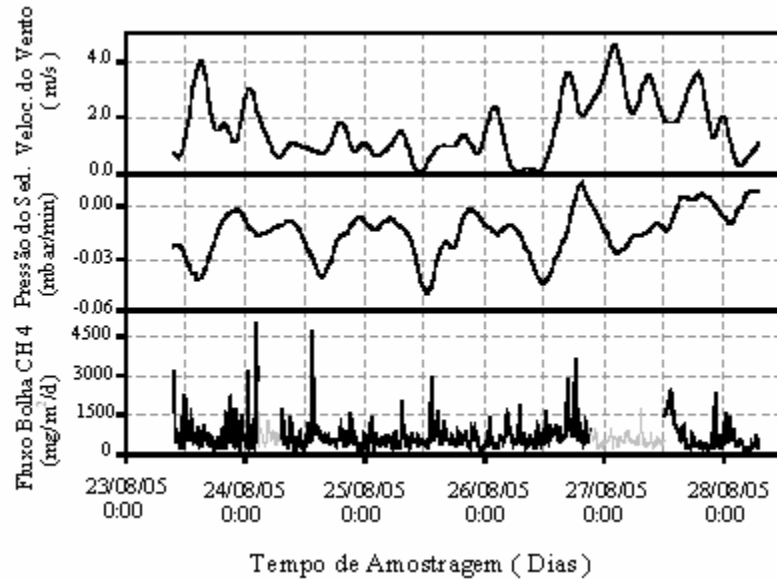


Figura 12 - A variabilidade diária do vento, a pressão exercida no sedimento e o gás fluem os parâmetros medidos em agosto 2005. As curvas cinzentas indicam os dados interpolados devido à falha de sistema

Os fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$  eram excepcionalmente elevados em agosto 2005, não afetados depois que mudanças no tempo e circunstâncias hidrológicas depois agosto (figuras 11 e 12). As diferenças médias entre o dia e a noite eram estatisticamente significativas para todas as variáveis consideradas (tabela 5). A velocidade de vento era não foram relatadas aos fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$ , bem como os fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$  (tabela 2). A radiação solar foi correlacionada na maior parte dos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). As mudanças na pressão do sedimento foram correlacionadas inversas aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  e aos fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$ , embora correlacionado diretamente aos fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo (tabela 2).

A temperatura de água foi correlacionada diretamente aos fluxos  $\text{CH}_4$  difusivo, quando indiretamente aos fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  (tabela 2). Contrário aos

fluxos difusivo de novembro 2004 e de março 2005, de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> não se relacionaram (tabela 2).

## **2.4 Discussão**

### **2.4.1 O relacionamento entre a local-profundidade e o gás-fluxo**

A câmara dinâmica automatizada utilizada neste trabalho para avaliar diferenças em fluxos do gás na relação de água/ar de acordo com a profundidade dos locais da amostragem. Para cada período de amostragem, era correlações elevadas notáveis dos fluxos da inter-câmara. Entretanto, as relações da profundidade-fluxo eram dissimilares ao longo das estações (tabela 1).

Em novembro 2004, a difusão CH<sub>4</sub> (CO<sub>2</sub>) diminuiu com a profundidade. Em reservatórios de América Central, os fluxos de bolhas de CH<sub>4</sub> foram relacionados inversamente à profundidade da medida (KELLER; STALLARD, 1994; JOYCE; JEWELL, 2003). Pelo contraste, o fluxo de bolha de CH<sub>4</sub> médio que em março aumentou de 0.4 aos locais de uma profundidade de 6 m (tabela 1). Não obstante, no acordo com estes estudos, foram relatadas as liberações maciças de CH<sub>4</sub> que ocorrem em especial em locais mais rasos, e esporádicos em março 2005 (figura 4).

Alternativamente, os fluxos de bolhas em agosto 2005 dos locais da amostragem com profundidade de 1 a 10 m eram todos extremamente intensos. Os efluxo de bolhas de CH<sub>4</sub> nos maciços que excedem 1400 mg/m<sup>2</sup>/d foram observados no local da amostragem de 2 m de profundidade, correspondendo a aproximadamente 40% da liberação inteira da bolha de CH<sub>4</sub> medida durante a campanha da amostragem de agosto 2005. Neste tempo, a profundidade de locais

da amostragem era geralmente não relacionada ao fluxo difusivo de bolhas. É possível que os testes padrões da profundidade-fluxo (aumento ou diminuição do fluxo do gás com profundidade) podem se levantar sob taxas particulares da emissão de gás. Isso porque os testes padrões de profundidade-fluxo foram verificados somente em novembro 2004 e em março 2005, quando as emissões eram muito mais baixas do que aquela observada em agosto 2005.

Entretanto, estes testes padrões diferiram também entre novembro 2004 e março 2005 (tabela 1). Outros mecanismos tais como o stress induzido pela velocidade e pelo sentido de vento, podiam ser responsáveis para pela variabilidade da profundidade-fluxo em zonas litorais do reservatório. Por outro lado, as taxas elevadas da emissão, relacionadas provavelmente às atividades biológicas grandes e a despressurização rápido do sedimento, puderam oferecer emissões uniformes durante todo locais da profundidade na zona litoral até 10 m.

A dinâmica dos períodos e regiões difusivo dos fluxos de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  apresenta geralmente as emissões  $\text{CH}_4$  realçadas, porque a Metanogênese bacteriano depende da temperatura (BUBIER et al., 1995; WALTER; HEIMANN, 2000; CHRISTENSEN et al., 2003b). As emissões do  $\text{CO}_2$  devem também aumentar com a temperatura de água/ar, devido ao aumento em taxas da oxidação do carbono e em velocidades aquáticas de transferência na camada misturada (KLING et al., 1991; JONSSON et al., 2003; MACINTYRE et al., 2001). Os influxos do  $\text{CO}_2$  observados particularmente em novembro 2004 durante a noite são incomuns, embora pudesse ser explicado pela restauração do equilíbrio termodinâmica devido à fixação do  $\text{CO}_2$  por atividades do fitoplâncton durante o dia. Esta restauração do

equilíbrio é mais óbvia em março e em agosto 2005, provavelmente porque o  $\text{CO}_2$  dissolvido excedeu o equilíbrio da concentração com a atmosfera.

Durante os três períodos da medida, o ar geralmente seguido da difusão do gás e a temperatura de água tendem a aumentar (figuras 8-12). Quando a temperatura de ar remanesceu completamente estável no ca. 24 °C durante os três períodos de amostragem, temperatura de água média eram significativamente mais baixos (t-teste,  $p < 0.0001$ ) em agosto 2005 (ca. 24 °C) do que em março 2005 (~28°C). Não obstante, apesar desta temperatura da água, os fluxos difusivo médios de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  dobraram de 2 para 4, respectivamente. Sob a luz do dia, as emissões  $\text{CH}_4$  eram mais baixas visto que as concentrações de oxigênio eram mais elevadas. (EVERGLADES KING et al., 1990).

Conseqüentemente, o oxigênio que origina dos processos fotossintético pode realçar atividades metanotrófico (LIMA et al., 2005b). Os resultados estão de acordo com este encontrado, porque os fluxos  $\text{CH}_4$  (e  $\text{CO}_2$ ) diurnos eram mais baixos do que aqueles observados durante a noite (tabela 3). Em março 2005, resultado da produção metanotrófico diurno do oxigênio (fotossíntese) e mistura devido à frente fria. Por outro lado, as correlações entre fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  eram fracas em agosto 2005 (tabela 2), muito provável devido à falha do método distinguir inteiramente as taxas de bolhas de  $\text{CH}_4$  serem elevadas dos fluxos difusivo. Em escalas de curto tempo, a falta da correlação expressiva entre a velocidade de vento e as bolhas do gás a tabela 2 pode ser explicada pelos seguintes aspectos: i) o método dinâmico da câmara fornece um fluxo de ar constante dentro das câmaras, assim minimizando o efeito do vento; ii) a velocidade de vento é naturalmente instável e intermitente, requerendo umas taxas mais

elevadas da medida para identificar melhores os efeitos short - range da energia do vento em fluxos do gás; e iii) a velocidade de vento foi medida aproximadamente 1 quilômetro de distancia do local da amostragem do gás. Não obstante, na escala de diversos dias, nós poderíamos observar um efeito principal da energia do vento nos fluxos do gás devido a uma frente fria chuvosa (figura 9). Termoclina ou a mistura da água induzido pela energia do vento e pela chuva fria, promovem um rompimento da estratificação de termo química (ENGLE; MELACK, 2000; LORENZZETTI et al., 2005). Foi verificado que tal influxo difusivo realçado processo do CO<sub>2</sub> e diminuimos o efluxo do CH<sub>4</sub> difusivo.

**Tabela 3** – dia (6:00-18:00) versus noite (18:00-6:00) diferenças de variações adquiridas em Novembro 2004.

	Temperatura do ar <sup>a</sup> (°C)		Variação da pressão do sedimento <sup>b</sup> (mbar/min)		Fluxo de metano difusivo <sup>a</sup> (mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d)		Fluxo de CO <sub>2</sub> difusivo <sup>a</sup> (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d)	
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
N	256	244	256	244	256	244	256	244
Min.	18.6	18.0	-0.025	-0.023	6.79	14.3	-305	-459
Media	26.5	21.9	-0.008	-0.006	15.1	20.1	222	-170
Max.	31.3	30.0	0.009	0.005	22.6	25.6	470	342

<sup>a</sup> Dia versus noite diferença de media significativa  $p < 0.0001$  (t-test)

<sup>b</sup> Dia versus noite media significativa  $p < 0.0568$  (t-test)



O aumento do efluxo do  $\text{CO}_2$  (figura 10) foi acompanhado por uma diminuição em pH (figura 9), devido ao aumento na pressão parcial do  $\text{CO}_2$  na água. Uma relação comparável entre o pH e os fluxos do  $\text{CO}_2$  foi estabelecida para os reservatórios norte americano, evidenciando que uns reservatórios mais ácidos apresentaram efluxo maiores do  $\text{CO}_2$  (SOUMIS et al., 2004). O influxo do  $\text{CO}_2$  prevaleceu após a passagem da frente fria condiciona independentemente de dia/noite (tabela 4).

O  $\text{CH}_4$  armazenado no hipolimnio poderia firmemente ter sido oxidado depois da reviravolta provocada no lago pela frente fria. Percebe-se também que os níveis do oxigênio em uma profundidade de 2 m começaram cair mais prováveis devido à ação metanotrófico (ENGLE; MELACK, 2000). Entretanto, a produção preliminar permitiu a troca rápida do oxigênio em março (figura 9). A falta aparente do efeito fotossintética em reduzir o efluxo do  $\text{CO}_2$  pode confiar na quantidade excedendo de  $\text{CO}_2$  dissolvido produzido através de bactéria metanotrófico de superfície de hipolimnio/sedimento.

Alternativamente, a passagem frente fria pode ter agido tanto o  $\text{CO}_2$  (e talvez os nutrientes) "fertilizantes" para a produção preliminar. (ENGLE; MELACK 2000) observaram que os eventos extremos do tempo alteram a dinâmica do  $\text{CH}_4$  em lagos de áreas alagadas da Amazônia. Relatam emissões grandes de bolha de  $\text{CH}_4$  e da difusão durante a passagem de uma frente fria. Não foi possível medir a emissão de  $\text{CH}_4$  durante a passagem da frente fria, devido à falha de sistema (veja dados interpolado em figura 9), assim não foi possível verificar tal ocorrência. Por outro lado, observou a oxidação  $\text{CH}_4$  na coluna da água durante eventos misturando

parcialmente, e alistam diversos artigos exemplificando este fenômeno (ENGLE; MELACK, 2000).

**Tabela 4 – Dia (6:00-18:00) versus noite (18:00-6:00) diferenças e efeito da frente fria nas variáveis adquiridas em Março de 2005.**

	Antes da frente fria (PCF) <sup>a,c</sup>					Após a frente fria (ACF) <sup>b,c</sup>				
	Dia		Noite			Dia		Noite		
	N	Min. Media Max.	N	Media Mean	Max.	N	Min. Media Max.	N	Min. Media Max.	
Velocidade do vento (m/s)	378	0.3 2.1 6.5	319	0.8 1.8 3.7	449	0.2 1.6 7.1	447	0.5 3 7		
Temperatura do ar (°C)	378	23 26.2 31.6	319	23.6 25.5 31.5	449	21.6 24.4 28.9	447	21.6 23.1 28.5		
Temperatura da água (°C)	378	27.8 28.4 28.9	319	28.5 29.2 29.7	449	26.7 27 27.8	447	26.7 27.3 28.6		
Oxigenio dissolvido (mg/l)	378	7.7 7.9 8.4	319	7.8 8 8.4	449	7.2 7.6 8	447	7.1 7.7 8.1		
pH	378	6.6 6.8 6.9	319	6.7 6.9 7	449	6 6.3 6.4	447	6.1 6.3 6.5		
Turbidez (NTU)	378	11.2 12.4 16.1	319	10.8 11.9 15.3	449	22.1 35.4 47.5	447	19 39.7 58.4		
Clorofila a (? g/l)	378	0 0.1 0.6	319	0 0 0.3	449	0 0.5 1.1	447	0.1 0.5 1.2		
Mudança de pressão do sedimento (mbar/min)	378	-0.028 -0.007 0.018	319	-0.024 -0.002 0.024	449	-0.043 0.008 0.07	447	-0.014 0.024 0.069		
Fluxo de metano difusivo (mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d)	378	36 43.2 47.6	319	36.3 43.8 50.8	449	25.7 30.6 41.1	447	22.7 31.8 39		
Fluxo de bolhas de metano (mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d)	378	0 15.5 246.6	319	0 22 218.3	449	0 2.3 103.7	447	0 1.5 105.7		
Fluxo difusivo de (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d)	378	-200.9 396.9 1165.3	319	-350.6 -53.2 546.6	449	50.4 765.5 1362.9	447	34.3 423.4 794.4		

<sup>a</sup> ECF. As diferenças de médias no dia versus noite são significante (t-test) para velocidade do vento ( $p < 0.0002$ ), fluxo difusivo de CH<sub>4</sub> ( $p < 0.0044$ ), as variáveis restantes ( $p < 0.0001$ ); Fluxo de bolha de CH<sub>4</sub> (Mann-Whitney test,  $p < 0.0002$ )

<sup>b</sup> ACF. A diferença entre o dia e a noite foram significativas (t-test,  $p < 0.0001$ ), exceto para clorofila a (t-test,  $p < 0.1764$ ) e fluxo de bolhas de CH<sub>4</sub> (Mann-Whitney test,  $p < 0.3243$ )

<sup>c</sup> As diferenças entre PCF vs. ACF as médias são significantes (t-test,  $p < 0.0001$ ); fluxo de bolha de CH<sub>4</sub> (Mann-Whitney test,  $p < 0.0001$ )

**Tabela 5** – Dia (6:00-18:00) versus noite (18:00-6:00) diferenças de variáveis adquiridas em Agosto 2005.

	Dia				Noite			
	N	Min.	Media	Max.	N	Min.	Media	Max.
Velocidade do vento (m/s)	490	0.1	1.5	4	510	0.2	1.8	4.5
Temperatura do ar (°C)	490	18.2	23.9	31.7	510	18.6	24.7	31.9
Temperatura da água (°C)	490	23.4	24.2	25	510	23.7	24.5	25.1
Varição da pressão do sedimento (mbar/min)	490	-0.05	-0.022	0.01	510	-0.027	-0.008	0.014
Fluxo de metano difusivo (mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d)	490	26.8	43	57.8	510	33.1	46.2	58.2
Fluxo de bolhas de metano mgCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d)	490	245.3	619.7	1485.8	510	230	512.1	1405.7
Fluxo de CO <sub>2</sub> difusivo (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d)	490	423.5	2164.9	4376.1	510	292.4	779.6	2686

A diferença entre o dia e a noite é significativa (t-test) para todas as variáveis ( $p < 0.0001$ ); fluxo de bolha de CH<sub>4</sub> (Mann-Whitney test,  $p < 0.0001$ )

## 2.4.2 Dinâmica de fluxos de bolhas

A dinâmica de fluxo do metano em março 2005 foi possível distinguir grandes emissões de bolhas de CH<sub>4</sub> em locais rasos e emissão lenta (escoamento) em locais profundos (figura 7). O escoamento pode resultar de uma pressão hidrostática maior, criando a resistência no sedimento perturbado para uma liberação de bolhas de CH<sub>4</sub> completa, como ocorre em locais rasos. Documenta-se bem que as mudanças de pressão do sedimento provocam freqüentemente liberações de bolha de CH<sub>4</sub> (CHANTON et al., 1989; MATTSON; LIKENS, 1990; BARTLETT et al., 1990; SCRANTON et al., 1993; SHURPALI et al., 1993; HUTTUNEN et al., 2003; CHRISTENSEN et al., 2003a).

Tal fenômeno, induzido, pode causar a correlação espacial forte em emissões da bolha (JOYCE; JEWELL, 2003). Ou seja, as mudanças espaciais prolongada na pressão do sedimento provocam a liberação concomitante das bolhas de CH<sub>4</sub> em diversos locais. Considerando a idéia do gás ideal  $PV = nRT$  e o processo da ruptura do sedimento, lei de Boyle, ( $P \propto 1/V$ ) e a hipótese de Avogadro ( $V \propto n$ ), um pulso da bolha pode ocorrer sempre que o aumento suficiente no volume da bolha ocorre (FECHNER-FECHNER-LEVY; HEMOND, 1996). Supondo isso nos trópicos onde a temperatura do sedimento permanece um tanto estável ao longo do ano, diminuições ocorridas na pressão do sedimento sejam suficientes para aumentar o volume da bolha em um nível capaz de induzir o rompimento do sedimento (JOHNSON et al., 2002). A pressão do sedimento é a soma de pressões hidrostático e atmosférico. Em locais rasos, prevalecem as mudanças da pressão atmosférica, visto que, em locais profundos, a pressão hidrostática atua como um papel principal. Por outro lado, o

volume da bolha pode também expandir enquanto o número de Moles de (n) aumenta nos sedimentos devido ao  $\text{CH}_4$  metanogênica. Quando as liberações de bolhas de  $\text{CH}_4$  faltaram testes padrões temporal óbvios, o escoamento em 4 e 6 m profundo segue um ciclo diário coerente (figura 7). Este ciclo é dirigido possivelmente pelo contrapeso entre a evasão do gás diário com as bolhas e a renovação do estoque do metano do sedimento pelas bactérias metanogênica. Alternativamente, este fenômeno poderia resultar da ação metanotrófica quando a luz solar ativa a fotossíntese e aumenta a disponibilidade do oxigênio (KLING et al., 1990). É visível em figuras 9 e 10 que a frente fria podia induzir a mistura da coluna da água, assim alterando o metanogene assim como as taxas metanotrófica e reduzindo finalmente o  $\text{CH}_4$  médio das bolhas por aproximadamente uma ordem de valor (tabela 4). A emissão das bolhas de  $\text{CH}_4$  pode também ser associada ao aumento na pressão do sedimento (figura 10). No contraste, as bolhas eram pouco visíveis em novembro 2004 apesar da despressurização desobstruído do sedimento (figura 9). Em agosto 2005 as bolhas eram muito intensas e não afetado pelo aumento na pressão do sedimento que começou em aproximadamente as 20:00 no dia 26 de agosto (figura 12). Perto ao local da amostragem do gás, a concentração de  $\text{CH}_4$  média no sedimento estava levantando-se progressivamente como 429, 648 e 918  $\text{mg/m}^2$  em novembro 2004, março 2005 e agosto 2005, respectivamente (D. Abe uma conversa reservada). Comparando os nossos resultados, é assim provável que o fenômeno de bolhas se levantaria exclusivamente quando a Metanogênese oprime uma determinada taxa da produção que conferenciam as concentrações de  $\text{CH}_4$  elevadas na fase de gás do sedimento. Em aproximadamente 420  $\text{mg/m}^2$ , a difusão do  $\text{CH}_4$  (e a oxidação) podem dominar na relação de sedimento/água, como refletindo em

evasão do gás na relação água/ar (figura 6). Em aproximadamente  $650 \text{ mg/m}^2$ , o gás de  $\text{CH}_4$  pode permanecer preso nos sedimentos, e sujeitando à pressão do sedimento, stress de tesoura (MATTSON; LIKENS 1990; JOHNSON et al., 2002; JOYCE; JEWELL, 2003) e a frente fria (ENGLE; MELACK, 2000), probabilidade  $\text{CH}_4$  borbulhando assim crescente. Entretanto, o fluxo de bolhas é elevado e remanescente independente em forças externas durante a Metanogênese intenso, como observado em agosto 2005, porque a relação borbulhando de  $\text{CH}_4$  evasão/restauração é mais provável

### **2.4.3 Fontes preliminares metanogênica e metanotrófica de $\text{CO}_2$**

Aqui apresenta evidências que os fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  podem primeiramente ser medidos pela oxidação de  $\text{CH}_4$ . Ao menos 50 % da Metanogênese em sedimentos de Corumbá eram através da redução do acetato (C. A.), visto que somente 17% explicaram a redução de  $\text{H}_2/\text{CO}_2$  (D. Abe, uma conversa reservada). Também, a relação do isótopo do carbono da bolha  $\text{CH}_4$  era  $\delta^{13}\text{C} = -57 \pm 4.3\%$  ( $n = 8$ , agosto 2005) (MAZZI, E. resultados não publicados), evidenciando o domínio do acetato metanogênica (WHITICAR, 1999). As liberações de  $\text{CH}_4$  da superfície da água à atmosfera não são equivalentes aos fluxos de sedimento/água, porque uma fração do  $\text{CH}_4$  difundindo é convertida no  $\text{CO}_2$  pelas bactérias metanotrófica sob circunstâncias aeróbicas.

Embora a variável, metanotrófica consuma uma parcela considerável do metano (CICERONE; OREMLAND, 1988). Adicionalmente, as bactérias metanotrófica pode haver uma contribuição considerável do carbono à cadeia fotorreceptora

aquática de alimento (HESSEN; NYGAARD, 1992; Jones et al., 1999). As bactérias metanotrófica são originais em sua habilidade de utilizar  $\text{CH}_4$  como uma única fonte do carbono e de energia através das enzimas sabendo assim como o mono oxigenases do  $\text{CH}_4$  (HANSEN; HANSEN, 1996). A oxidação pode ocorrer na parte oxida superior do sedimento ou dentro da coluna da água. No lago Washington, sobre a metade do fluxo de  $\text{CH}_4$ , é oxidado o  $\text{CO}_2$  nos primeiros 7 milímetros superiores dos sedimentos e o restante perde-se na coluna da água (KUIVILA et al., 1988). No lago Constance, ca. 93% do  $\text{CH}_4$  produzido são oxidados dentro da camada óxica de sedimento pelas bactérias aeróbicas metanotróficas (FRENZEL et al., 1990). Além disso, a oxidação do  $\text{CH}_4$  dissolvido pode ser dependente da altura da coluna da água.

Embora as concentrações de  $\text{CH}_4$  nos sedimentos fossem comparáveis, a quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvido no hipolimnio, era mais elevada em Tucuruí do que aquela no reservatório de Samuel, porque a oxidação de  $\text{CH}_4$  é realçada em reservatórios profundos (LIMA, 2005). Para o reservatório de Broa no Brasil, aproximadamente 90% de  $\text{CH}_4$  pode ser consumido na relação de sedimento/água ou na coluna da água (ABE et al., 2005). Somente 20% do  $\text{CO}_2$  total transportado através da relação de água/ar foi produzido possivelmente nos sedimentos. O restante 80% pode ser derivado de outras fontes (ABE et al., 2005), metanotróficas na coluna da água (KUIVILA et al., 1988; FRENZEL et al., 1990; LIMA, 2005). Em uma base diária, os fluxos difusivo de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  foram correlacionados inversamente, exceto em agosto 2005 (tabela 2), provavelmente porque nosso método não discriminou  $\text{CH}_4$  intenso de bolhas dos fluxos de  $\text{CH}_4$  difusivo. No entanto, os três períodos de fluxos difusivo do  $\text{CO}_2$  das medidas tenderam a ser mais



elevado durante a luz do dia, geralmente os picos ocorrem entre 11:00 e 17:00 horas. Em reservatórios como o de Tucuruí e de Samuel, a luz solar estimulou a produção do oxigênio através da fotossíntese, que ativou por sua vez atividades metanotróficas (LIMA et al., 2005b). Conseqüentemente, foram inferidos durante os três períodos das medidas, os efluxos do CO<sub>2</sub> puderam corresponder a metanotróficas dentro do ecossistema aquático. Considerando difusões médias de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> na tabela 1, os fatores correspondentes da oxidação de CH<sub>4</sub> podem ser calculados como 56.0, 79.1 e 88.5 % em novembro 2004, março e agosto 2005, respectivamente. Estes valores estão no acordo com os outros estudos (KUIVILA et al., 1988; FRENZEL et al., 1990; ABE et al., 2005). Conformemente, adicionando as bolhas de CH<sub>4</sub> e emissões do CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub>-derivado) aos fluxos difusivo de CH<sub>4</sub>, o total metanogênico que ocorre no sedimento esclareceria 38.7, 181 e 1107 mgCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/d em novembro 2004, março e agosto 2005 respectivamente.

#### **2.4.4 Sazonalidade das fontes do carbono do fluxo do gás.**

Ao contrário das regiões temperada e boreal, as variações climáticas nos trópicos permanecem dentro das faixas de uma flutuação durante todo o ano, fazem a difusão média do gás e bolhas inerente à disponibilidade hidrológica do substrato/nutriente disponibilidade melhor que às variáveis do clima (JUNK; FURCH, 1993). Figura 13 sínteses gerais deste trabalho. No entanto, as taxas baixas da Metanogênese, a difusão e a oxidação prevalecem. O aumento na produção de CH<sub>4</sub> assegura a caça com armadilhas de CH<sub>4</sub> nos sedimentos, seguidos de bolhas de CH<sub>4</sub> sujeitado às forças externas. Sob estas circunstâncias, o efeito das frentes frias chuvosas pôde ser dobrado inicialmente, a midtura da coluna da água induzida por ventos fortes

realça a reviravolta do oxigênio e metanotrófica. Logo após, a chuva minimiza os fluxos das bolhas de  $\text{CH}_4$  por causa do aumento total da pressão do sedimento (figura 10). Em taxas muito grandes de Metanogênese, os fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$  torna-se muito importante, representando aproximadamente 46 % do total de  $\text{CH}_4$  produzido nos sedimentos. O restante (48 %) é oxidado, ou emitido com a difusão à atmosfera (6 %) (figura 10).

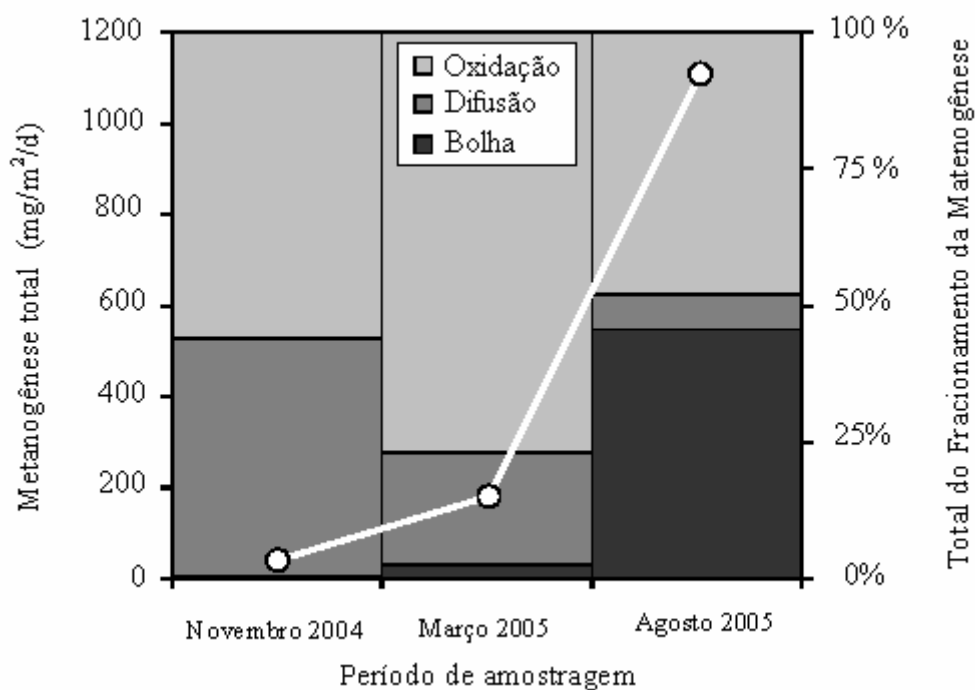


FIGURA 13 - Metanogênese Sazonal e sua divisória na oxidação, na difusão e em frações de bolhas

O metabolismo do lago, chamado também a produção líquida do ecossistema (NEP), é a diferença entre a produção e processos preliminares brutos da respiração. Em ecossistemas gerais, água respira predominantemente um carbono mais orgânico (alóctone) do que eles produzem com a fotossíntese (autóctone), e é conseqüentemente (COLE, 1999) (alotrófica) heterotrófica líquida. A matéria orgânica terrestre (refratária) torna-se mais disponível à ação fotorreceptora aquática do

alimento pelo photo-oxidação da luz solar, que produz ácidos orgânicos de baixos de peso molecular, tais como o acetato (BACKLUND, 1992; CORIN et al., 1998). O carbono orgânico dissolvido (DOC) em ecossistemas aquáticos pode ser geralmente alóctone. Por exemplo, a acumulação  $\text{CH}_4$  no hipolimnio foi correlacionada ao DOC epilimniométrico e hipolimniométrico, mas não à produção preliminar (HOUSER et al., 2003). A produção preliminar é pela maior parte dependente da disponibilidade dos nutrientes, e somente os lagos baixos no DOC e médios a elevados em Fósforo total são dissipadores autotrófico e líquido do carbono da atmosfera (HANSON et al., 2004). Alternativamente, as bactérias sob circunstâncias oligotróficas são concorrentes melhores para os nutrientes que limitam autotróficas e heterotróficas. Enquanto a disponibilidade de nutriente aumenta, as circunstâncias tornam-se cada vez mais favoráveis para o fitoplâncton com taxas de nutrientes máximas mais elevadas (ROBERTS; HOWARTH, 2006). O teste padrão sazonal metanogênica no reservatório de Corumbá pôde ser ligado à dinâmica trófica do estado, porque há uma retardação de tempo entre as fontes e os picos dos nutrientes e o pico de  $\text{CH}_4$  e emissões do  $\text{CO}_2$ . As atividades do turismo na cidade de Caldas Nova são muito intensas, geralmente atraindo povos aproximadamente de milhão cada ano. O rio de Pirapetinga, no detalhe, recebe a maioria de descargas domésticas do poluente de Caldas Nova (figura 1). De acordo com (FILIPPO; SOARES 1999), uns níveis mais elevados do fósforo total são observados somente durante as estações chuvosas, desacopladas às descargas domésticas de Caldas Nova.

Uma fonte natural do carbono e dos nutrientes pôde assim ser conectada à dinâmica da precipitação e do runoff (figura 2), embora as fontes domésticas da poluição não pudessem ser completamente consideradas irrelevantes. No rio de

Pirapetinga, a concentração total do fósforo foi medida abaixo da superfície da água é ca. 0.025 mg/l de maio a dezembro (inverno seco), aumentando mais que 5 mg/l entre janeiro e março (verão humido) ( BRUM ; CIMBLERIS, uma conversa reservada ). Por outro lado, (50 cm abaixo da superfície da água) as concentrações superficiais do DOC em Corumbá diminuíram em 2.34, 1.40 e 0.96 mg/l de novembro 2004 a março e a agosto 2005, respectivamente (ROLAND; MENDONÇA, uma conversa reservada ). O inverso ou a falta da relação entre o DOC e o Metanogênese no epilimnio puderam indicar que a produção de CH<sub>4</sub> poderia confirmar no DOC hipolimnio, derivado possivelmente da foto oxidação e da mineralização bacteriana do carbono orgânico enterrados na superfície do sedimento das zonas litorais. Durante a estação chuvosa, os nutrientes e o carbono orgânico são carregados no reservatório. Durante este trânsito, as parcelas lábeis do DOC podem rapidamente submeter-se à degradação biológica com as vias aeróbicas, saindo somente da fração mais refratária, que pode depositar sedimentos excedentes do reservatório. De abril a outubro, os níveis da água no reservatório de Corumbá estavam baixos (figura 2), conduzindo a uma diminuição em seu nível de água. De março a agosto, os níveis de água dos reservatórios baixaram mais de 10 metros, permitindo que os sedimentos mais profundos cobertos com o carbono refratário pudessem ser expostos à luz solar. A ação Metanogênese foi extremamente elevada durante agosto, quando o fósforo total e as entradas terrestres da matéria orgânica estavam possivelmente em seus valores mais baixos devido ao runoff pequeno. Conseqüentemente, é possível que as fontes do carbono para o Metanogênese na zona litoral estão fornecidas pelo photo-oxidação da matéria orgânica refratária enterrada, exposto à luz solar durante a baixa do nível de água. Adicionalmente, os fluxos de bolhas de CH<sub>4</sub> verificaram visualmente

o reservatório em agosto 2005 puderam adicionalmente ser acoplados ao despressurização hidrostática do sedimento.

### **3 Considerações preliminares e implicações**

O estudo de emissões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  do reservatório de Corumbá através de um sistema automatizado, que pudesse adquirir continuamente a informação durante períodos do dia e da noite. Com esta aproximação, foi confirmada uma diferença significativa entre o dia e os fluxos do gás de efeito estufa da noite. Conseqüentemente, o contrapeso aquático do carbono restringido somente aos dados do dia pode ser seriamente defeituoso. Os dados quasi-contínuos do fluxo do gás reservaram verificar a dinâmica dos fluxos de bolhas de  $\text{CH}_4$ . Em áreas rasas é afetada preferencialmente pela pressão atmosférica e geralmente a bolha de  $\text{CH}_4$  libera-se. Pelo contraste, as áreas profundas são sujeitadas mais à pressão hidrostática, produzindo bolhas do escoamento de  $\text{CH}_4$ . O escoamento segue geralmente um ciclo diário, possivelmente relacionado a umas taxas mais elevadas da Metanogênese durante a noite. Em taxas muito elevadas da Metanogênese, as bolhas são distribuído quase igualmente entre os locais rasos e profundos, onde a variabilidade espacial pôde intrinsecamente ser ligado à quantidade disponível de  $\text{CH}_4$ , tais como o acetato. Além disso, em períodos do nível de água baixando, a despressurização do sedimento pode também contribuir com uma grande quantidade de bolhas de  $\text{CH}_4$ . As frentes frias chuvosas podem aumentar fluxos do gás à atmosfera (ENGLE; MELACK, 2000). Por outro lado, o oxigênio redistribuído em toda a coluna de água, quando a pressão total no sedimento aumenta seguida de frente fria chuvosa. Em conseqüência, a bolha de  $\text{CH}_4$  e a difusão reduzem-se, visto que

realçando emissões do  $\text{CO}_2$  à atmosfera devido à ação metanotrófica. As difusões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  geralmente foram relacionadas inversas, sugerindo que as emissões diárias de  $\text{CO}_2$  puderam ser resultado metanotrófico dentro da coluna da água. Os fatores da oxidação de  $\text{CH}_4$  então como 56.0, 79.1 e 88.5 % em novembro 2004, março e agosto 2005, respectivamente. Considerando emissões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  respectivamente como fontes metanogênica e metanotrófica, foi derivadas taxas metanogênica nos sedimentos em torno de 38.7, 181 e 1107  $\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$  em novembro 2004, de março e de agosto 2005. Esta sazonalidade não é relacionada ao clima, e é controlado, muito provável pela dinâmica tropico hidrológico do estado. Finalmente, uma fração desconhecida do enterro do carbono podia recentemente ser convertida em  $\text{CH}_4$  e em  $\text{CO}_2$ . Este é um fato se nós considerarmos i) entradas alóctone do carbono aliadas ao ciclo da precipitação, e ii) photo-oxidação do carbono sazonalmente enterrado nas zonas do litoral durante períodos do nível de água nas vazantes. O enterro do carbono em sedimentos na zona pelágica podia ser realístico devido à proteção do sedimento da luz solar. Entretanto, os solos de Cerrado podem ser dissipadores líquidos do carbono (RESCK, 2001). Se o flooding permanente de solos do Cerrado altera estas áreas em fontes antropogênicas adicionais ou em dissipador do carbono esta ainda é uma questão em aberto.

## REFERÊNCIAS

ABE D. S.; ADAMS D.D.; GALLI C.V.S.; SIKAR E., TUNDISI. J.G.; Sediment greenhouse gases (methane and carbon dioxide) in the Lobo-Broa Reservoir, São Paulo State, Brazil: Concentrations and diffuse emission fluxes for carbon budget considerations, Lakes and Reservoirs. **Research Management**, New York, v. 10, p. 201–210, 2005.

ABRIL G.; GUÉRIN F.; RICHARD S.; DELMAS R.; GALY C. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 19, n. 4, p. GB4007, 2005. doi: 10.1029/2005GB002457.

BACKLUND, P. Degradation of aquatic humic material by ultraviolet light. **Chemosphere**, Oxford, v. 25, p. 1869-1878, 1992.

BARTLETT, K.B.; CRILL P.M.; BONASSI J.A.; RICHEY J.E; AND HARRISS. R.C. Methane flux from the Amazon River floodplain: emission during rising water. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 95, p. 16773–16788, 1990.

BUBIER, J.L.; MOORE T.R.; BELLISARIO L.; COMER N.T.; AND. CRILL. P..M.; Ecological controls on methane emissions from a northern peatland complex in the zone of discontinuous permafrost, Manitoba, Canada. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, p. 455–470, 1995.

CARPI, A.; LINDBERG, S. E. Application of a Teflon-TM dynamic flux chamber for quantifying soil mercury flux: tests and results over background soils. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, p. 873–882, 1998.

CHANTON, J. P.; MARTENS, C. S.; KELLEY, C. A. Gas transport from methane saturated, tidal freshwater and wetland sediments. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 34, p. 807–819, 1989.

CHRISTENSEN, T. R.. Biotic controls on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> exchange in wetlands a closed environment study. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, p. 337–354, 2003a.

\_\_\_\_\_ Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 30, p. 1414, 2003b. doi:10.1029/2002GL016848.

CICERONE, R. J.; OREMLAND, R. S. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 2, p. 299–327, 1988.

COLE, J. J. Aquatic microbiology for ecosystem scientists: New and recycled paradigms in ecological microbiology. **Ecosystems**, New York, v. 2, p. 215–225, 1999.

COLE, J.J.; CARACO, N.F.; KLING, G.W.; KRATZL. T.K.; Carbon dioxide super saturation in the surface waters of lakes. *Science*, Washington, v. 265, p. 1568–1570, 1994.

CORIN, N.; BACKLUND, P.; WIKLUND, T. Bacterial growth in humic waters exposed to UV-radiation and simulated sunlight. *Chemosphere*, Oxford, v. 36, p. 1947–1958, 1998.

CRILL, P.M.; BARTLETT, K.B.; WILSON, J; SEBACHER, D.I.; HARRISS, R.C.; MELACK, J.M.; MACINTYRE, S.; LESACK L; SMITH MORRILL. L.; Tropospheric methane from an Amazonian floodplain lake, **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 93, p. 1564–1570, 1988.

DELMAS, R., RICHARD, S., GUÉRIN, F., ABRIL, G., GALY-LACAUX, C., DELON C. AND GRÉGOIRE, A. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. In: TREMBLAY, A.; ROEHM, C.; GARNEAU, M.; (Ed.). **Greenhouse gas emissions, fluxes and processes**: hydroelectric reservoirs and natural environments. New York: Springer Press, 2005. p. 293–312.



DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R. Comparison of static chamber and thin boundary layer equation methods for measuring greenhouse gas emission from large water bodies. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 33, p. 350–357, 1999.

DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; SOUMIS, N.. First assessment of methane and carbon emissions from shallow and deep zones reservoirs upon ice break-up. **Lakes Reservoirs: Research Management**, London, v. 11, p. 9–19, 2006.

DUCHEMIN, E ; LUCOTTE, M ; ST-LOUIS, V ; CANUEL. R. Hydroelectric reservoirs as an anthropogenic source of greenhouse gases. **World Resource Review**, Naperville, v. 14, p. 334–353, 2002.

DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL R ; CHAMBERLAND.A Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> by hydroelectric reservoirs of the boreal region. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, p. 529–540, 1995.

DUCHEMIN, É.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; ALMEIDA CRUZ, D.; PEREIRA, H.C.; DEZINCOURT, J.; QUEIROZ, A.G.. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those from other reservoirs worldwide. **Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie**, Berlin, v. 27, p. 1391–1395, 2000.

ENGLE, D.; MELACK, J. M. Methane emissions from an Amazon floodplain lake: enhanced release during episodic mixing and during falling water. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 51, p. 71–90, 2000.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO<sub>2</sub> efflux measurements. **Functional Ecology**, Oxford, v. 12, p. 319–325, 1998.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 133, p. 69–96, 2002.

\_\_\_\_\_. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly clean energy source. An editorial comment. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 66, p. 1-8, 2004.

FECHNER-LEVY, E. J.; HEMOND, H. F. Trapped methane volume and potential effects on methane ebullition in a northern Peatland. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 41, p. 1375–1383, 1996.

DE FILIPPO, R.; SOARES, C. B. P. Avaliação do efeito dos despejos urbanos da cidade de Caldas Novas sobre o Rio Pirapetinga e o reservatório da UHE Corumbá (GO). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15., 1999, Foz do Iguaçu, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro: CIGRÉ-Brasil, 1999.

FRENZEL, P.; THEBRATH, B.; CONRAD, R. Oxidation of methane in the oxic surface layer of a deep lake sediment (Lake Constance). **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 73, p. 149–158, 1990.

HANSON, R. S.; HANSON, T. E. Methanotrophic bacteria. **Microbiological Reviews**, Washington, v. 60, p. 439–471, 1996.

HANSON, P.C.; POLLARD, A.I.; BADE, D.L. K.; PREDICK, S.R.;. A model of carbon evasion and sedimentation in temperate lakes. **Global Change Biology**, London, v. 10, p. 1285–1298, 2004.

HESSEN, D.; NYGAARD, K. Bacterial transfer of methane and detritus: implications for the pelagic carbon budget and gaseous release. **Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie**, Berlin, v. 37, p. 139–148, 1992.

HOUSER, J.N.; BADE, D.L.; COLE, J.J.; PACE. M.L. The dual influences of dissolved organic carbon on hypolimnetic metabolism: organic substrate and photosynthetic reduction. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, p. 247–269, 2003.

- HUTTUNEN, J.T.; ALM, J.; LIIKANEN, A.; JUUTINEN, S.T. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 609–621, 2003.
- JONES, R.I.; GREY, J.; SLEEP, D.; ARVOLA, L.; Stable isotope analysis of zooplankton carbon nutrition in humic lakes. **Oikos**, Viçosa, v. 86, p. 97–104, 1999.
- JOHNSON, B.D.; BOUDREAU, B.P.; GARDINER, B.S. Mechanical response of sediments to bubble growth. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 187, p. 347–363, 2002.
- JONSSON, A.; KARLSSON, J.; JANSSON, M. Sources of carbon dioxide supersaturation in clearwater and humic lakes in Northern Sweden. **Ecosystems**, New York, v. 6, p. 224–235, 2003.
- JOYCE, J.; JEWELL, P. W. Physical controls on methane ebullition from reservoirs and lakes. **Environmental and Engineering Geoscience**, Dallas, v. 9, p. 167–178, 2003.
- JUNK, W. J.; FURCH, K. A general review of tropical South American floodplains. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 2, p. 231–238, 1993.
- KELLER, M.; STALLARD, R. F. Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 99, p. 8307–8319, 1994.
- KEPPLER, F.; HAMILTON, J.T.G.; BRAS, M.; ROECKMANN, T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. **Nature**, London, v. 439, p. 187–191, 2006.
- KING, G. M. Regulation by light of methane emissions from a wetland. **Nature**, London, v. 345, p. 513–515, 1990.

KLING G. W.; KIPPHUT, G. W.; MILLER, M. C. Arctic lakes and streams as gas conduits to the atmosphere: implications for tundra carbon budgets. **Science**, Washington, v. 251, p. 298–301, 1991.

KUIVILA, K.M.; MURRAY, J.W.; DEVOL, A.H.; LIDSTROM, M.E.; REIMERS C.E. Methane cycling in the sediments of Lake Washington. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 33, p. 571–581, 1988.

LELIEVELD, J.; CRUTZEN, P. J.; BRUHL, C. Climate effects of atmospheric methane, **Chemosphere**, Oxford, v. 26, p. 739–768, 1993.

LIMA, I. B. T. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, p. 1697–1702, 2005.

LIMA, I. B. T. ;OMETTO, J. P. H. B.; MAZZI, E. A.; NOVO, E. M. L. M. Circadian release of methane from Amazon hydroreservoirs. **Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie**, Berlin, v. 29, p. 580–582, 2005b.

LIMA, I .B .T.; RAMOS, F.M.; ROSA R.R.;. MAZZI, E.A.; CARVALHO, J.C.; RASERA, M.F.F.L.; OMETTO, J.P.H.B.; ASSIREU, A.T.; STECH. J. L. Photoacoustic/dynamic chamber method for measuring greenhouse gas fluxes in hydroreservoirs. **Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie**, Berlin, v. 29, p. 603–606, 2005a.

LISS, P. S.; SLATER, P. G. Flux of gases across the air-sea interface. **Nature**, London, v. 247, p. 181–184, 1974.

LORENZZETTI, J. A.;. STECH, J. L.; ASSIREU, A. T.; LIMA I. B. T. SIMA: a near real time buoy data acquisition and telemetry system as a support for limnological studies. In: SANTOS, M. A.; ROSA, L. P. (Ed.). **Global warming and hydroelectric reservoirs**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. p. 71–80.

MACINTYRE, S.; EUGSTER, W.; KLING, G. W. The critical importance of buoyancy flux for gas flux across the air-water interface. In: DONELAN, M. A.; DRENNAN W.

M.; SALTZMAN E. S.; WANNINKHOF R. (Ed.). **Gas transfer at water surfaces**. Washington D.C.: AGU, 2001. p. 135–139.

MATTSON, M. D.; LIKENS, G. E. Air pressure and methane fluxes. **Nature**, London, v. 347, p. 718–719, 1990.

MATTEWS, C. D.; ST. LOUIS, V.; HESSLEIN, R. Comparison of three techniques used to measure diffusive gas exchange from sheltered aquatic surfaces. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 37, p. 772–780, 2003.

MELACK, J.M.; HESS, L. L. ; GASTIL, M.; FORSBERG, B .R.; HAMILTON, S. K LIMA, I.B.T.; NOVO E.M.L.M.Regionalization of methane emissions in the Amazon basin with microwave remote sensing. **Global Change Biology**, London, v. 10, p. 530–544, 2004.

MOORE, T. R.; ROULET, N. T. A comparison of dynamic and static chambers for methane emission measurements from subarctic fens. **Atmosphere-Ocean**, Toronto, v. 29, p. 102–109, 1991.

NAY, S. M.; MATTSON, K. G.; BORMANN B. T. Biases of chamber methods for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux demonstrated with a laboratory apparatus. **Ecology**, Brooklyn, v. 75, p. 2460–2463, 1994.

PRESS, W. H., TEUKOLSKY, S. A., VETTERLING, W. T., & FLANNERY. Cubic spline interpolation. In: PRESS, W. H. TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. (Ed.). **Numerical recipes in FORTRAN: The art of scientific computing**. 2.nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002a. p. 107–110.

PRESS,W. H., FLANNERY, B. P., TEUKOLSKY, S. A. AND VETTERLING, W. T.. Singular value decomposition. In: PRESS, W. H. TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. (Ed.). **Numerical recipes in FORTRAN: The art of scientific computing**. 2.nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002a. p. 51–63.

RESCK, D. V. T. Sistemas de manejo do solo e balanço de carbono no Cerrado. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 231–255.

RICHEY, J.E.; MELACK, J .M.; AUFDENKAMPE, A.K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. **Nature**, London, v. 416, p. 617–620, 2002.

ROBERTS, B. J.; HOWARTH, R. W. Nutrient and light availability regulate the relative contribution of autotrophs and heterotrophs to respiration in freshwater pelagic ecosystems. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 51, p. 288–298, 2006.

ROSA, L. P. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 66, p. 9–21, 2004.

RUDDIMAN, W. F. The anthropogenic era began thousands of years ago. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 61, p. 261–293, 2003.

RUDDIMAN, W. F.; VAVRUS, S. J.; KUTZBACH, J. E. A test of the overdue-glaciation hypothesis. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 24, p. 1–10, 2005.

SCHIMEL, D; ALVES, D; ENTING, I; HEIMANN, M; JOOS, F; RAYNAUD, D; WIGLEY, T; PRATHER, M; DERWENT, R; EHHALT, D; FRASER, P; SANHUEZA, E; ZHOU, X; JONAS P. Radiative forcing of climate change. In: HOUGHTON, J. T. JENKINS, G.J; EPHRAUMS, J.J.; (Ed.). **Climate change 1995: the science of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 65–131.

SCRANTON, M.; CRILL, P DE ANGELIS, M; DONAGHAY, P.; SIEBURTH, JM.. The importance of episodic events in controlling the flux of methane from anoxic basin. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 7, p. 491–507, 1993.

- SHURPALI, N. J.; VERMA, S. B.; CLEMENT, R. J. Seasonal distribution of methane flux in Minnesota Peatland measured by eddy correlation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 98, p. 20649–20655, 1993.
- SOUMIS N.; DUCHEMIN, E.; CANUEL, R; LUCOTTE. M. Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 18, n. 3, p. GB3022, 2004.
- STALLARD, R. F. Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 12, p. 231–257, 1998.
- STECH, J. L. ; LIMA, I.B.T. ; NOVO, E. M. L. ; ASSIREU, A. T. ; LORENZZETTI, J. A. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie**, Berlin 29, in press. (2006).
- STEVENSON, M.R; LORENZZETTI, J.A; STECH, J.L; ARLINO, P.R; VLADIMIRM, C SIMA – An integrated environmental monitoring system. In: BRAZILIAN REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 7., 1993, Curitiba. **Proceedings...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 300–310.
- ST. LOUIS, V. L., KELLY C.A.; DUCHEMIN, E.; RUDD J .W.M.; ROSENBERG. D.M. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. **Bioscience**, New york v. 50, p. 766-775, 2000.
- SUBKE, J.A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J. D. Explaining temporal variation in soil efflux in a manure spruce forest in South German. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 1467–1483, 2003.
- WALTER, B. P.; HEIMANN, M. A process-based, climate-sensitive model to derive methane emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 14, p. 745–765, 2000. doi:10.1029/1999GB001204.

WHALEN, S. C. Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. **Environmental Engineering Science**, New Rochelle, v. 22, p. 73–94, 2005.

WHITICAR, M. J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 161, p. 291–314, 1999.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. Automated chamber technique for gaseous flux measurements: Evaluation of a photoacoustic infrared spectrometer-trace gas analyzer. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 104, p. 5463–5546, 1999.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)