

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METANO NO RESERVATÓRIO DE CAPIVARI

Gleiciane F. de Carvalho¹; Akemi Kan²; Rodrigo S. Ferreira³; Eder David B. da Silva⁴ & Rosana de F. C. Gibertoni⁵

RESUMO --- O metano, um dos gases potencializadores do efeito estufa, que é emitido, entre outras fontes, por reservatórios de hidrelétricas é, hoje, reconhecido e vem sendo estudado mundialmente. Contudo, há ainda divergências sobre como e o quanto os reservatórios podem emitir este gás. O presente artigo possui como objetivo a avaliação de alguns fatores determinantes para o aumento da concentração de metano na coluna de água. Para isso foram analisados dados de concentração de metano no reservatório de Capivari (PR) e dados hidrometeorológicos da região. A análise baseou-se, principalmente na relação da cota e da vazão com a concentração de metano, sob a hipótese de que com o aumento da vazão há mais transporte de carga orgânica ao reservatório; e a elevação do nível da água do reservatório pós-estiagem favorece a submersão da vegetação desenvolvida nas margens expostas durante a referida estiagem, aumentando a concentração de metano. Além disso, foram avaliadas as influências dos fenômenos meteorológicos nessa concentração. Constatou-se que não existem correlações lineares estatisticamente significativas entre as variáveis hidrometeorológicas e a concentração do metano em reservatório, mas foi possível observar que cota e vazão influenciam nessa concentração, interagindo com os fenômenos meteorológicos da região.

ABSTRACT --- Methane, one of greenhouse gases, is also emitted by hydroelectric power reservoirs. This fact is universally acknowledged. However, there are still disagreements about the amount of emission and how it is generated. This work intends to evaluate some of the factors that influence the concentration of methane along the water column. The measurement of methane concentration for the Capivari reservoir in the Paraná State and regional hydrometeorological data were analyzed. The analysis was focused on the relationship between elevation and flow and how it affects the concentration of methane. We used the assumption that the higher the flow rate, the higher the transport of organic load to the reservoir. Also, those higher water levels in the reservoir during post-drought periods promote the submergence of exposed vegetation over the banks during the drought, thus increasing the concentration of methane. We found that there are not statistically significant linear correlations between the hydrometeorological variables and the concentration of methane in the reservoir. But, it was observed that the elevation and flow rate influence this methane concentration, interacting with meteorological phenomena of the region.

Palavras-chave: Metano, reservatórios, concentração.

1) Bolsista do LACTEC CEHPAR – Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6314. E-mail: gleiciane@lactec.org.br . Acadêmico de Engenharia Ambiental da UFPR.

2) Pesquisadora do LACTEC CEHPAR – Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba - PR. Fone: (0xx41)3361-6314. E-mail: akemi.kan@lactec.org.br

3) Pesquisador do LACTEC CEHPAR – Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba - PR. Fone: (0xx41)3361-6842. E-mail: rodrigo.ferreira@lactec.org.br

4) Bolsista do LACTEC CEHPAR – Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6314. E-mail: eder.david@lactec.org.br. Acadêmico de Engenharia Agrônômica da UFPR.

5) Pesquisadora do LACTEC CEHPAR – Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba - PR. Fone: (0xx41)3361-6282. E-mail: rosana@lactec.org.br

1 - INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno que ocorre naturalmente na Terra e que garante a sobrevivência dos seres vivos, mas é de conhecimento geral que esse fenômeno tem seu efeito aumentado pelas atividades antropogênicas. Os principais gases que causam esse aumento são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). O primeiro, reconhecido como o maior causador de efeito estufa, é assim intitulado por possuir um tempo muito longo na atmosfera e por ser o mais emitido atualmente. Já o segundo, o qual será o enfoque desse trabalho, é considerado mais preocupante, pois: “por molécula, um aumento da quantidade de metano no ar causa um efeito de aquecimento 21 vezes maior que a adição de dióxido de carbono, ...” (BAIRD, 2002).

O metano é produzido pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Esse processo pode se dar em lagos naturais e artificiais quando houver a decomposição de plantas ou materiais orgânicos submersos em água, sendo as terras alagadas, uma fonte natural de emissão de metano. Esse metano pode ser emitido por ebulição no fundo e por difusão na superfície do reservatório. Assim, a energia hidrelétrica não é uma forma de energia isenta de emissões quando a terra é inundada para gerá-la (BAIRD, 2002).

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) em reservatórios de hidrelétricas está sendo alvo de muitos estudos em diversas partes do mundo, mas ainda existe muita discordância sobre questões relacionadas à sua distribuição espacial e temporal, bem como a origem das fontes produtoras e também qual a contribuição efetiva dos reservatórios na emissão dos gases de efeito estufa. Santos *et al.* (2008) mostraram a existência de flutuações de GEE com períodos de duração irregular. Segundo eles, estas flutuações são influenciadas por uma série de fatores, principalmente temperatura, regime de ventos, exposição ao sol, parâmetros físicos, químicos e biológicos da água.

Nos estudos realizados por Michellis (2007), a quantidade de emissões de GEE varia muito de um reservatório para outro e está correlacionada, entre outros fatores, com a latitude e idade dos reservatórios.

A zona de deplecionamento é a área dentro do lago que fica exposta quando o nível da água abaixa. Nas épocas de rebaixamento do nível d'água uma vegetação herbácea de fácil decomposição cresce rapidamente sobre os solos expostos, gerando uma biomassa que irá se decompor quando da retomada do armazenamento de água, contribuindo na formação de metano. Desta forma, a cada ano, gás carbônico é removido da atmosfera pela fotossíntese e o carbono é reemitido na forma de metano quando a vegetação é inundada (FEARNSIDE, 2008).

Ferreira *et al.* (2009) fizeram medições de metano no reservatório de Capivari, pertencente à usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza, entre junho de 2006 e novembro de 2007, com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização do metano proveniente do reservatório na geração de energia. A partir dos dados de concentração de metano coletados por eles, foi realizado o presente

estudo, o qual consiste em analisar e comparar esses dados com dados hidrometeorológicos da região, a fim de encontrar padrões que justifiquem as concentrações nesse reservatório.

2 – ÁREA DE ESTUDO

As águas do rio Capivari foram represadas para a construção da usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza, estando a represa a 830 metros acima do nível do mar. O reservatório tem suas coordenadas geográficas situadas a 25°07' de latitude sul e 48°44' de longitude oeste, e está localizado nos municípios de Bocaiúva do Sul e Campina Grande do Sul, no Estado do Paraná (figura 1).

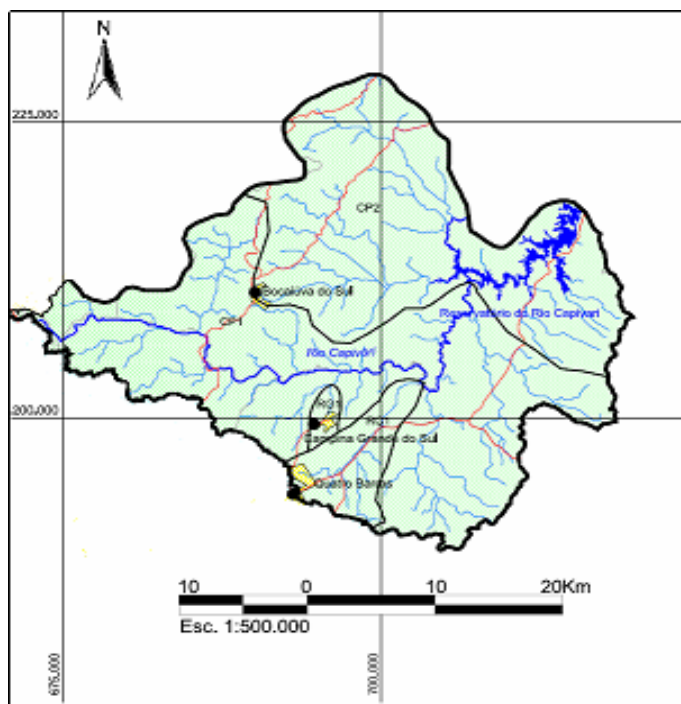


Figura 1 - Bacia do rio Capivari (Adaptação do mapa disponibilizado pela SUDERHSA)

A área drenada no local do eixo da barragem é de 945 km² e a área inundada pelo lago é de aproximadamente 12 km². O reservatório possui uma profundidade média de 14 metros e máxima de 43 metros. O nível de água máximo é de 846 metros, já o nível máximo e mínimo para operação é de 845 e 822 metros, respectivamente, sendo que o volume útil é de 150 m³.

A bacia hidrográfica do rio Capivari está localizada no Primeiro Planalto Paranaense, em uma região onde, de acordo com a classificação de Köppen, predomina o clima subtropical úmido (Cfa). O clima regional, dito mesotérmico, é caracterizado com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca definida, verão quente e inverno com geadas esporádicas.

A bacia tem sua área ocupada majoritariamente por floresta, devido a sua localização junto à Serra do Mar. Contudo, a bacia sofre a influência das atividades antrópicas dos dois municípios situados no entorno do reservatório, e também da rodovia BR-116 que passa por cima do reservatório.

3 – DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados para elaboração deste estudo foram: hidrometeorológicos e concentração de metano na água. Os dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento, velocidade de rajada, radiação solar e precipitação) da região de estudo foram obtidos da Estação Meteorológica Pinhais do SIMEPAR (02549041), localizada no município de Pinhais. Já os dados hidrológicos de vazões afluentes e defluentes e cota-área foram obtidos da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), a qual é responsável pela usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza. A COPEL opera duas estações fluviométricas, uma a montante e outra a jusante da barragem do Capivari. Os detalhes sobre a localização e a altitude das estações podem ser encontrados na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das estações

Estação	Tipo	Localização	Altitude	Período utilizado
Barragem Capivari-Montante 81299000	Fluviométrica	25°13' S 48°57' W	780 m	2006-2007
Barragem Capivari-Jusante 81303000	Fluviométrica	25°05'17'' S 48°49'33'' W	670 m	2006-2007
Pinhais 02549041	Meteorológica	25°25' S 49°08' W	930 m	2006-2007

Na figura 2 é possível observar a precipitação, a vazão afluente e defluente e as datas da coletas de amostra para medição de metano. Cabe ressaltar que a intensidade da chuva utilizada, obtida da série de dados disponibilizada para a estação Pinhais, não representa a chuva média na bacia, apenas um indicativo da precipitação. Esta simplificação pode explicar algumas inconsistências verificadas, como a não correspondência entre a data de ocorrência da precipitação e de subida do hidrograma observada em alguns eventos.

As medições de metano foram obtidas através do estudo realizado por Ferreira *et al.* (2009), cujo objetivo foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de metano proveniente de reservatórios de usinas hidrelétricas na geração de energia. No reservatório de Capivari, as medições ocorreram entre junho de 2006 e novembro de 2007. Foram realizadas 10 amostragens em 4 pontos ao longo do reservatório, sendo que em cada ponto foram coletadas 3 amostras em diferentes profundidades.

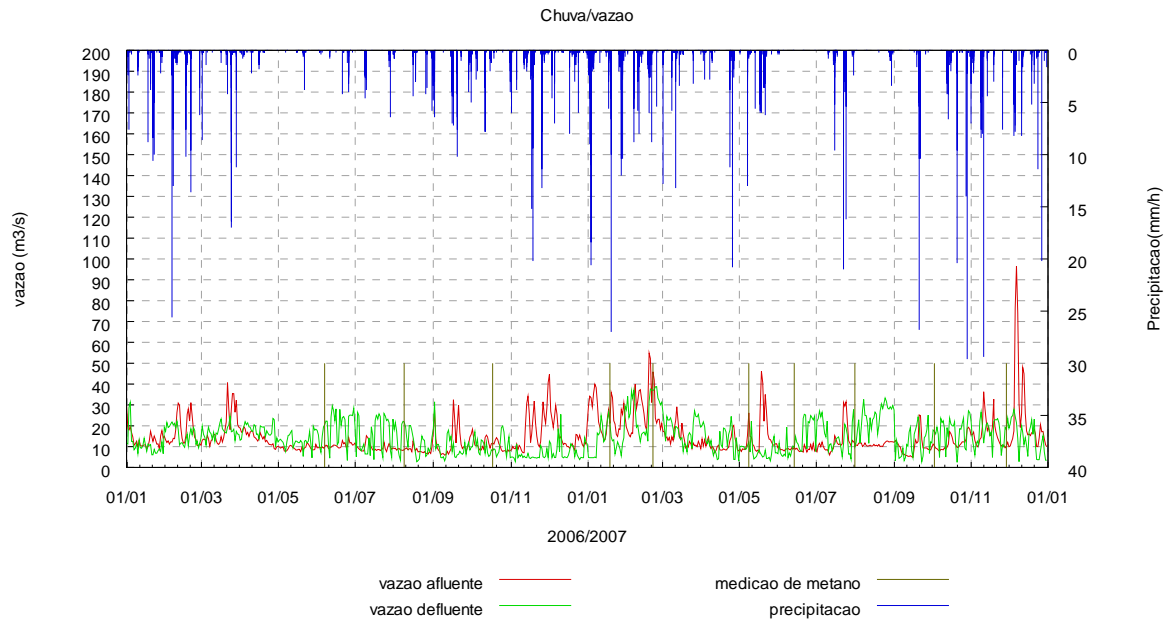


Figura 2 - Precipitação, vazão afluente e defluente no período de 01/01/2006 a 31/12/2007. Obs: as faixas nomeadas “medição de metano” não representam sua grandeza.

O critério para a seleção dos locais amostrados levou em consideração a profundidade medida por meio do uso de um aparelho ecobatímetro. Os pontos amostrados no reservatório do Capivari foram determinados de acordo com as maiores profundidades encontradas, sendo estas superiores a 20 metros. 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 (FERREIRA *et al.*, 2009).

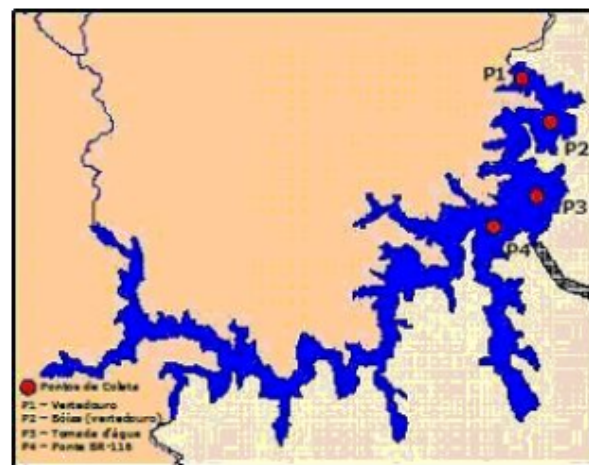


Figura 3 - Mapa geográfico do reservatório do Capivari indicando os pontos amostrados (Fonte: Ferreira *et al.*, 2009).

Na tabela 2 foram transcritos os dias das amostragens, o intervalo de profundidade da coleta, a média da concentração de metano por ponto e a média total de concentração de metano de todos os

pontos no dia. Durante a amostragem teve ocasiões em que houve coleta de amostras do fundo do reservatório, as quais continham excesso de matéria orgânica (lodo). A fim de evitar distorções nas médias estas amostras foram excluídas do cálculo.

Tabela 2 - Concentrações de metano no reservatório de Capivari

Amostragem Data	Profundidade máxima por ponto (m)				Média da concentração de metano por ponto (ppmv)				Média da concentração de metano na amostragem (ppmv)
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	
1 07/06/2006	30	30	23	23	<1	<1	<1	<1	<1
2 09/08/2006	30	33	23	23	2,5*	2,3	1,3	<1	1,8
3 18/10/2006	35	30	27	19	<1*	6*	<1	1,5*	2,4
4 19/01/2007	40	40	33	26	80,3	45	33	293,6	113
5 22/02/2007	42	43	31	25	73	100	23	7,7	50,9
6 09/05/2007	40	37	30	25	21,3	29,7	59,3	114,5*	56,2
7 14/06/2007	40	40	30	30	85,7	186,3	1,7	2	68,9
8 01/08/2007	40	36	26	27	<1	<1	<1	<1	<1
9 03/10/2007	36	36	20	22	8	3	6,5	<1	4,6
10 29/11/2007	33	34	30	23	32,7	26,3	67,3	76	50,6

Obs: * amostragem com apenas duas coletas

Como as coletas das amostras foram feitas no período da manhã, adotou-se como sendo a média diária das variáveis meteorológicas, a média das últimas 24 horas dos dados horários fornecidos pelo SIMEPAR, o que equivale à média do período entre 13 horas do dia anterior e 12 horas do dia da coleta. Os resultados dessas médias encontram-se na tabela 3, juntamente com os dados de cota (H), área do reservatório (A) e de vazão média diária (Q).

O nível diário da água do reservatório está mostrado na figura 4 e a área da superfície do reservatório foi obtida pela curva cota x área apresentada na figura 5. Quanto à direção da rajada de vento foi adotada a direção predominante no período de 24 horas. O dado assim obtido representa um indicativo da direção da rajada do vento e foi dividido nos seguintes pontos cardiais: N - norte (337,5°-22,5°); NE – nordeste (22,5°-67,5°); L – leste (67,5°-112,5°); SE – sudeste (112,5°-157,5°); S – sul (157,5°-202,5°); SO – sudoeste (202,5°-247,5°); O – oeste (247,5°-292,5°); NO – noroeste (292,5°-337,5°). As variáveis meteorológicas adotadas foram: temperatura (T em °C); umidade relativa (UR em %); radiação solar incidente (Rd em W/m²); vento (V em m/s); rajada de vento (RV em m/s); indicativo da direção da rajada de vento (Direção em pontos cardiais). Por apresentar muitas falhas de medição, a umidade relativa não foi utilizada nas análises dos dados. As figuras 6, 7 e 8 mostram os dados meteorológicos horários utilizados para cada dia de monitoramento.

Tabela 3 - Dados hidrometeorológicos

Amostragem Data	Variáveis meteorológicas						H (m)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
	T (°C)	UR (%)	Rd (W/m ²)	V (m/s)	RV (m/s)	Direção			
1 07/06/2006	23,6	89,3	82,7	1,9	3,9	NE	838.85	8.7	9,8
2 09/08/2006	20,5	---	187,3	2,8	4,3	NO	833.33	6.0	8,6
3 18/10/2006	13,1	---	71,3	2,1	4,2	SE	834.07	6.3	11,8
4 19/01/2007	23,0	85,7	235,9	1,5	4,1	NO	842.34	10.9	21,1
5 22/02/2007	20,8	96,4	118,6	1,7	3,4	L	844.03	12.9	45,9
6 09/05/2007	11,6	96,4	38,9	2,7	5,5	SO	842.37	10.9	26,2
7 14/06/2007	18,1	62,1	157,0	2,5	4,6	N	844.04	12.9	9,6
8 01/08/2007	10,9	92,4	153,3	1,4	2,7	N	842.47	10.9	11,3
9 03/10/2007	13,4*	---	171,3	2,2	4,5	SE	838.12	8.3	10,4
10 29/11/2007	---	---	244,0	1,7	4,7	SE	836.38	7.6	10,2

Obs: --- Indica falha nos dados monitorados;

* Falha preenchida como sendo igual ao dia 30/09/2007.

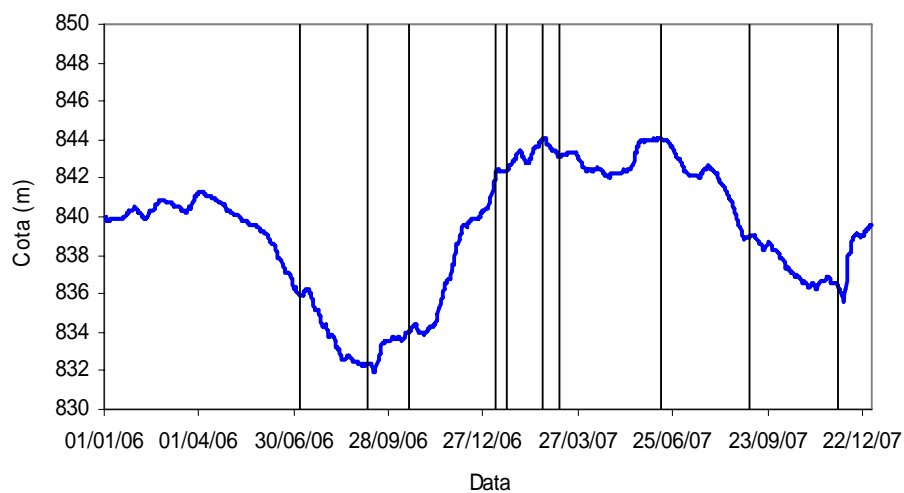


Figura 4 – Nível do reservatório de Capivari com identificação das datas de amostragem

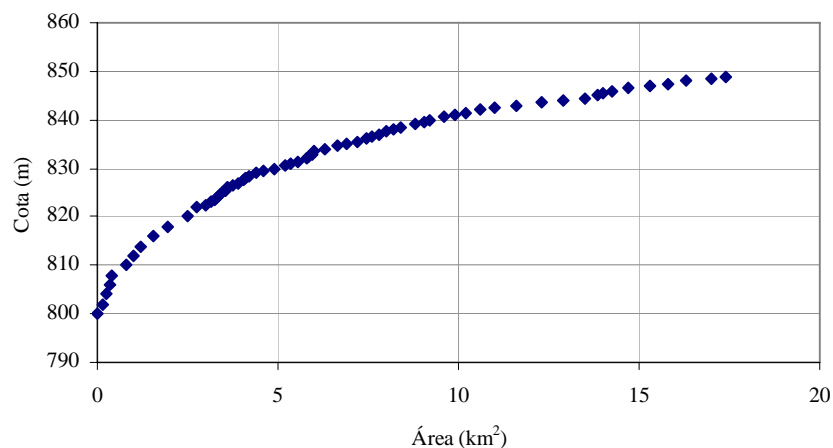


Figura 5 - Cota × Área do reservatório de Capivari

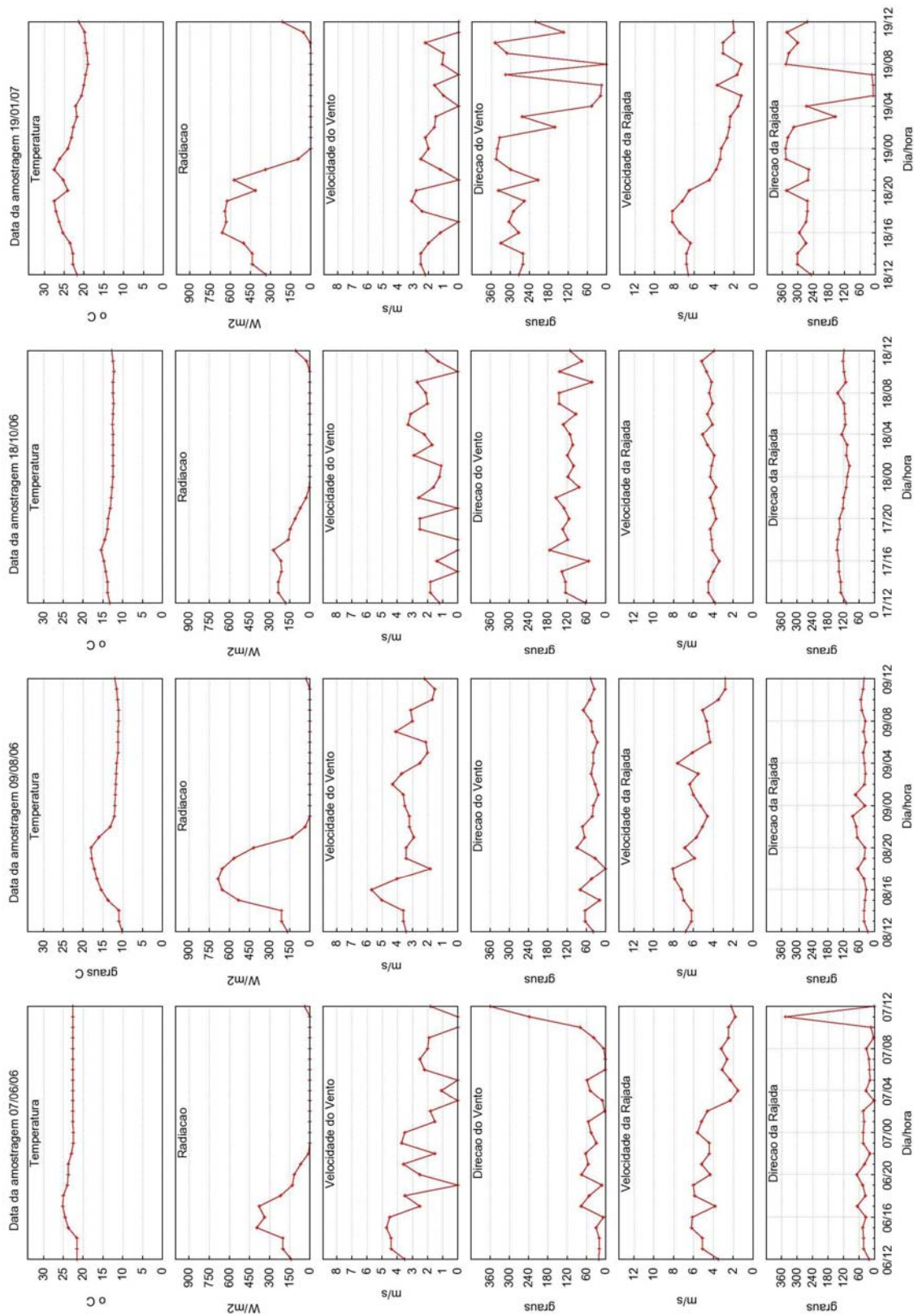


Figura 6 – Dados meteorológicos horários referentes às amostragens do dia 07/06/2006, 09/08/2006, 18/10/2006 e 19/01/2006

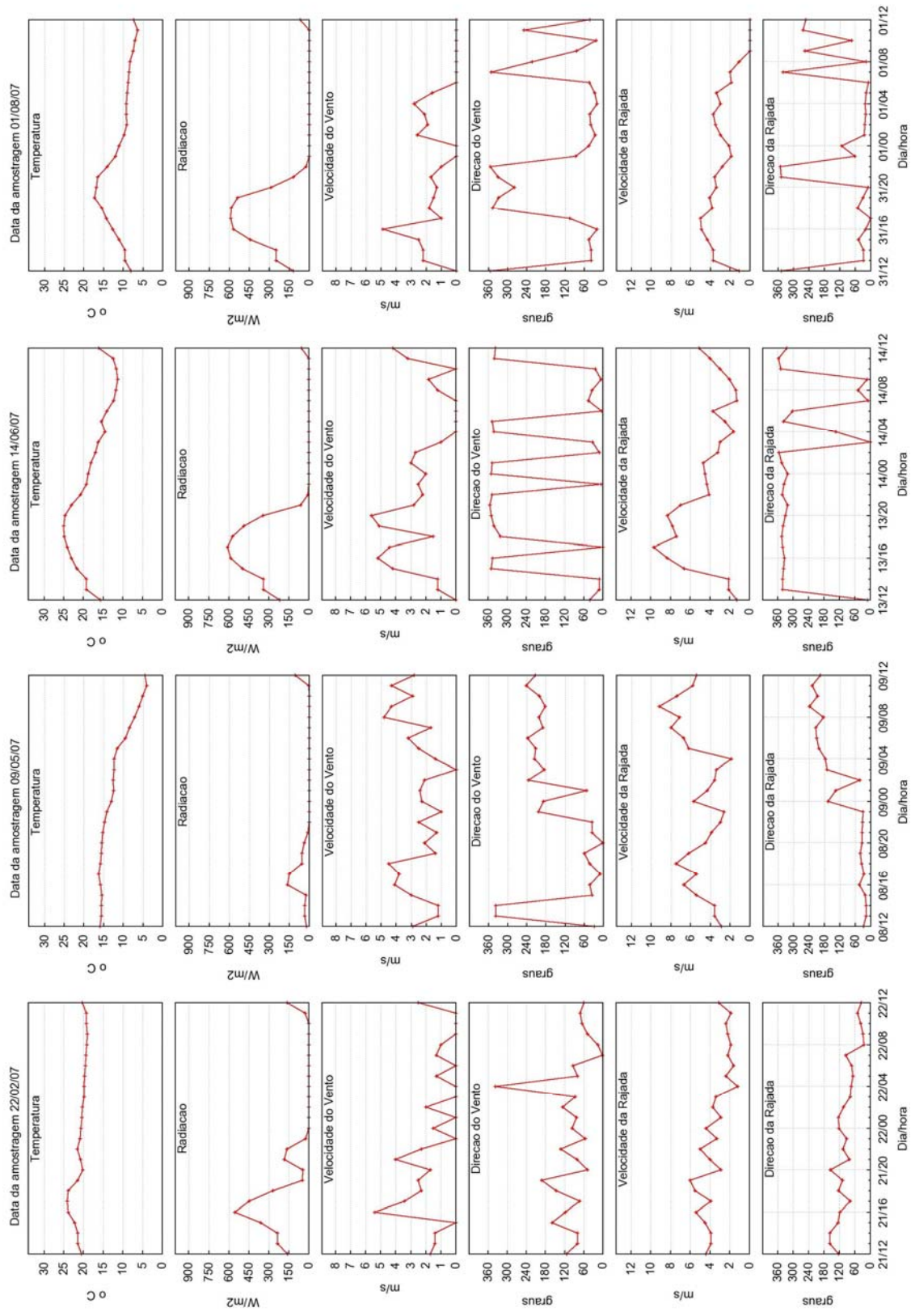


Figura 7 – Dados meteorológicos horários referentes às amostragens do dia 22/02/2007, 09/05/2007, 14/06/2007 e 01/08/2007

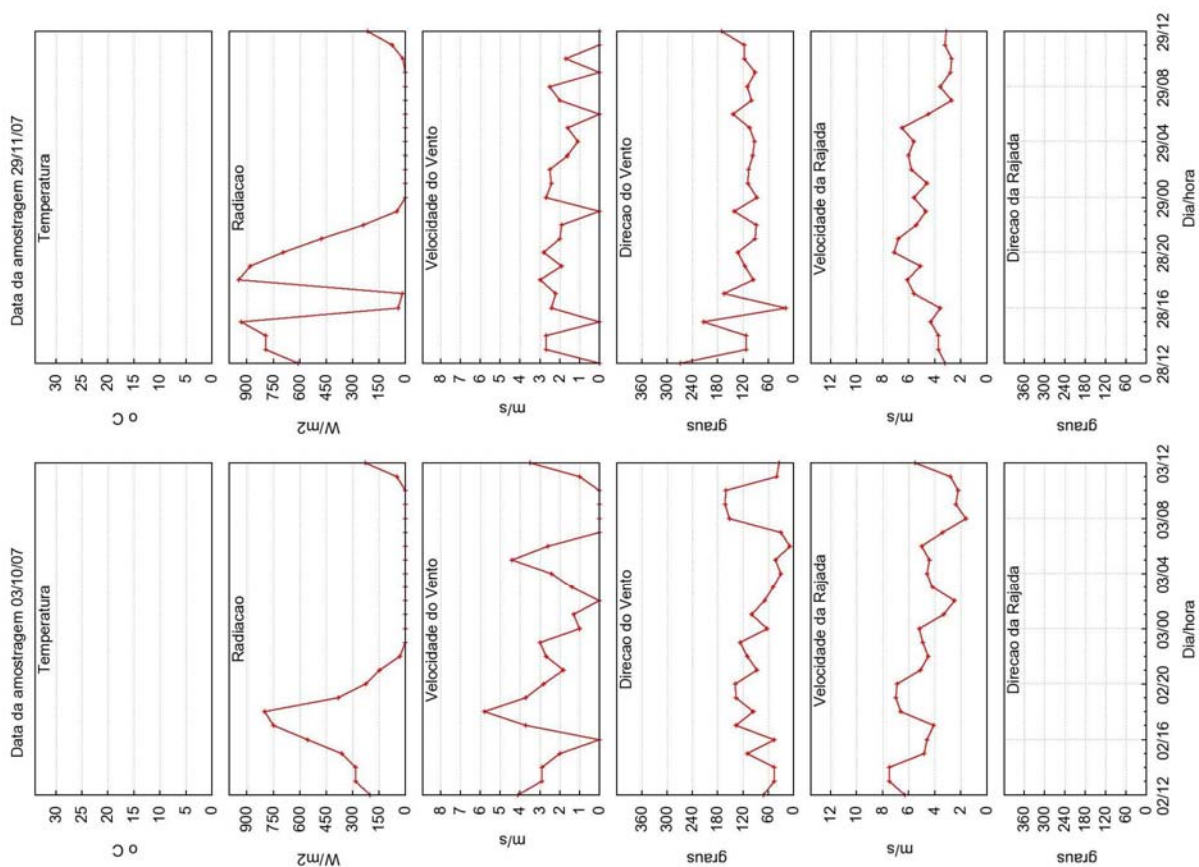


Figura 8 – Dados meteorológicos horários referentes às amostragens do dia 03/10/2007 e 29/11/2007, e falha nos dados de temperatura e direção da rajada

4 – ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009). Foi feita a correlação de Pearson envolvendo as seguintes variáveis: temperatura, radiação solar incidente, rajada de vento, vazão, cota, as médias da concentração de metano de cada ponto de amostragem (P1, P2, P3 e P4) e a média geral do reservatório (M). Na tabela 4 encontram-se os coeficientes de correlações entre as variáveis e o p-valor. Inicialmente, analisou-se a correlação entre as amostragens e os resultados mostraram que a correlação entre P1 e P2 é de 84 % e 55% entre P3 e P4, e com p-valor de 0,0022 e 0,0973, respectivamente. Para os pontos P1 e P2, a melhor correlação se deu com a variável cota, para P3 a rajada de vento e para P4 a radiação solar incidente. Em geral, os resultados de correlação entre M e demais variáveis podem melhorar as correlações por atenuar a variabilidade espacial existente. As demais relações mostraram um valor baixo de correlação e um alto p-valor.

A finalidade de utilizar as variáveis meteorológicas e hidrológicas como variáveis independentes foi tentar compreender melhor os fatores que podem estar influenciando no aumento da concentração de metano em reservatórios.

Tabela 4 - Matriz¹ de correlação entre as variáveis

	Q	H	T	Rd	V	RV	P1	P2	P3	P4	M
Q	1.0000	0.5459	0.1602	-0.2566	-0.1917	-0.1248	0.4880	0.2993	0.3308	0.2154	0.4123
H	0.1026	1.0000	0.0370	-0.1024	-0.2837	-0.1891	0.6592	0.6179	0.1356	0.2649	0.5721
T	0.6585	0.9193	1.0000	0.3052	-0.1285	-0.1194	0.4323	0.2317	-0.0951	0.2646	0.3331
Rd	0.4742	0.7784	0.3911	1.0000	-0.3385	-0.1138	0.3323	0.0655	0.1702	0.3665	0.3518
V	0.5958	0.4270	0.7235	0.3387	1.0000	0.6873	-0.1672	0.1343	-0.0808	-0.2741	-0.1663
RV	0.7313	0.6007	0.7426	0.7543	0.0281	1.0000	0.0652	0.1101	0.5252	0.2413	0.2907
P1	0.1525	0.0382	0.2122	0.3482	0.6442	0.8579	1.0000	0.8432	0.2463	0.4630	0.8754
P2	0.4008	0.0570	0.5194	0.8574	0.7115	0.7620	0.0022	1.0000	-0.0115	-0.0046	0.5734
P3	0.3505	0.7087	0.7938	0.6384	0.8244	0.1190	0.4928	0.9749	1.0000	0.5530	0.5528
P4	0.5501	0.4595	0.4601	0.2976	0.4435	0.5018	0.1779	0.9899	0.0973	1.0000	0.8028
M	0.2364	0.0840	0.3470	0.3188	0.6462	0.4152	0.0009	0.0831	0.0975	0.0052	1.0000

¹ A diagonal superior da matriz representa o coeficiente de correlação de Pearson, a diagonal inferior representa a p-valor referente à correlação.

Foram testadas algumas regressões múltiplas para reduzir a variância residual e aumentar o nível de significância dos testes estatísticos. O ideal seria obter o mais alto valor de correlação com o mínimo de variáveis independentes, a inserção de variáveis independentes adicionais diminui o grau de liberdade do resíduo. A seguir são apresentados três exemplos de regressão multivariada:

(i) Primeiro exemplo: ajuste de equação através de uma regressão multivariada usando como variável dependente Y como sendo igual à concentração média do metano no reservatório e as variáveis independentes X1 como sendo igual a H e X2 igual a Q. A equação de regressão múltipla é dada por $Y = c_1X_1 + c_2X_2$, onde c_1 , c_2 são os coeficientes angulares da variável e foi desconsiderado o intercepto do eixo Y. Os resultados dessa regressão obtiveram os seguintes coeficientes $c_1=0,01543$ e $c_2=1,34290$, o coeficiente de determinação (r^2) igual a 45,58 %, p-valor igual a 0,03592 e com 8 graus de liberdade.

(ii) Segundo exemplo: ajuste de equação através de uma regressão multivariada usando como variável dependente Y como sendo igual à concentração amostrada no ponto P1 e as variáveis independentes X1 como sendo igual a H^2 , X2 igual a Rd^2 , X3 igual a H, X4 igual a T, X5 igual a T^2 e X6 igual a Rd. A equação de regressão múltipla é dada por $Y = c_0 + c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + c_4X_4 + c_5X_5 + c_6X_6$, onde c_0 é o intercepto do eixo Y e c_1, \dots, c_6 são os coeficientes angulares da variável. Os resultados dessa regressão apresentaram como coeficientes $c_0=477300$, $c_1=0,6870$, $c_2=0,002128$, $c_3=-0,001146$, $c_4=34,11$, $c_5=-0,9184$ e $c_6=-0,5194$, o coeficiente de determinação (r^2) igual a 79,81 %, p-valor igual a 0,07035 e com 3 graus de liberdade.

(iii) Terceiro exemplo: ajuste da equação através de uma regressão multivariada usando como variável dependente Y como sendo igual à concentração amostrada no ponto P2 e as variáveis independentes X1 como sendo igual a H^2 , X2 igual a H, X3 igual a RV, X4 igual a RV^2 , X5 igual a Q, X6 igual a Q^2 , X7 igual a V^2 e X8 igual a Rd^2 . A equação de regressão múltipla é dada por $Y = c_0 + c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + c_4X_4 + c_5X_5 + c_6X_6 + c_7X_7 + c_8X_8$, onde c_0 é o intercepto do eixo Y e c_1, \dots, c_8 são os coeficientes angulares da variável. Os resultados dessa regressão apresentaram

como coeficientes $c_0=2629000$, $c_1=3,756$, $c_2=-6258$, $c_3=208,7$, $c_4=-17,49$, $c_5=-13,64$, $c_6=0,2197$, $c_7=13,96$, $c_8=-0,0002473$, o coeficiente de determinação (r^2) igual a 99,89 %, p-valor igual a 0,02365 e com 1 grau de liberdade.

Observa-se que o aumento das variáveis independentes na regressão melhora em muito o coeficiente de determinação, mas por outro lado diminui significativamente o grau de liberdade do resíduo da regressão.

Apenas com ajustes de regressões lineares simples e múltiplas, e análises estatísticas, as estimativas da concentração de metano em reservatório podem não apresentar resultados satisfatórios, principalmente em estudo que se objetiva a investigação da relação entre essa concentração e as variáveis hidrometeorológicas. Ainda, é preciso levar em conta que se têm poucos valores amostrados e, portanto, pouca representatividade dos eventos.

5 - RESULTADOS

Os resultados deste estudo se aplicam somente ao reservatório de Capivari, e conseqüentemente não foi avaliada a influência do posicionamento geográfico e nem da idade na concentração do metano no reservatório.

Como os dados de precipitação não podem ser considerados representativos da média da bacia, a análise dos dados se baseou, em sua maior parte, na análise da vazão afluente e cota do reservatório. Há de se salientar que ao longo de 2006 houve um período de estiagem ou de pouca chuva, entre maio e agosto de 2006, que causou a diminuição do nível de água do reservatório, não recebendo cargas orgânicas carreadas pelas águas das chuvas.

Conforme a figura 9 observa-se que a vazão afluente não possui nenhum pico durante os meses de maio, junho, julho e agosto de 2006, logo, não se espera encontrar grandes concentrações de metano no corpo d'água pelo fato de não ter havido entrada de carga orgânica junto com a água. Também é importante considerar que o nível do reservatório nesse período estava muito baixo, bem como a sua área superficial pequena. Na primeira amostragem (07/06/2006) foram encontradas concentrações de metano menores que 1 ppmv em todos os pontos e, na segunda amostragem (09/08/2006) foi encontrado uma média de 1,7 ppmv de metano, o que confirma a hipótese. Na terceira amostragem, ocorrido em 18/10/2006, foi encontrada uma média de concentração de metano de 2,22 ppmv. Esse aumento não é considerado significativo, pois o pico de vazão que ocorreu 30 dias antes da amostragem, no dia 18, poderia não representar uma influência significativa na concentração de metano, apesar da pequena elevação do nível da água.

Na figura 10 é possível observar o fim do período de estiagem com o aumento da precipitação, aumentando, conseqüentemente, a vazão afluente.

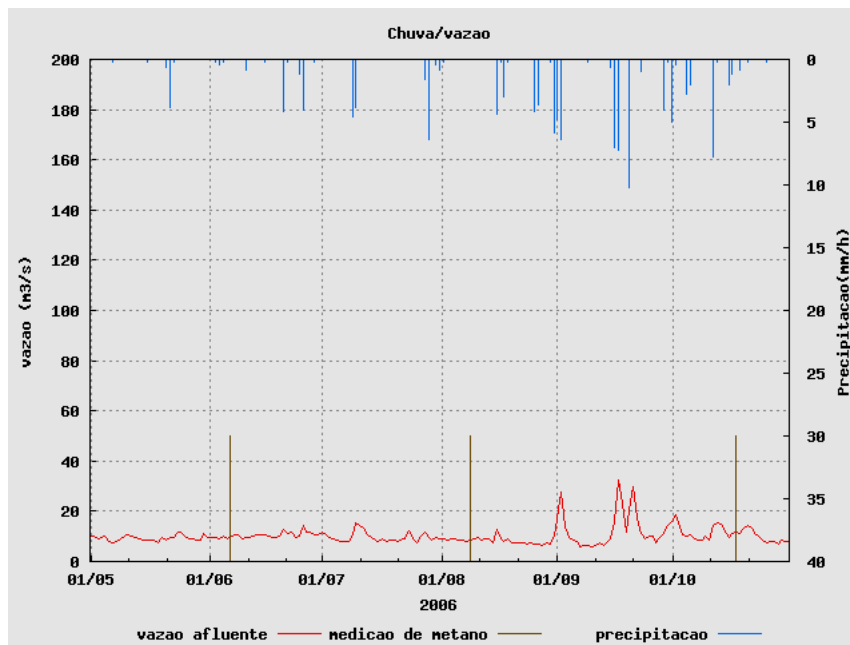


Figura 9 - Precipitação e vazão afluyente no período de 01/05/2006 a 31/10/2006

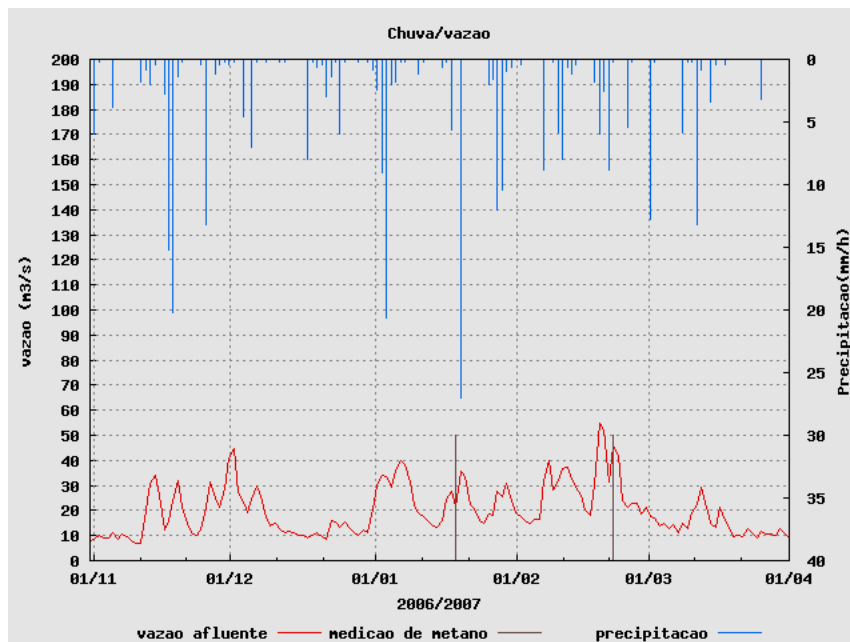


Figura 10 - Precipitação e vazão afluyente no período de 01/11/2006 a 31/03/2007

Na quarta amostragem, ocorrido em 19/01/2007, é possível notar um grande aumento nas concentrações de metano em todos os postos (uma média de 113 ppmv). Contudo, no ponto P4, localizado à montante no reservatório, as concentrações são mais elevadas que nos outros pontos com uma média de 293 ppmv. Este destaque no valor em P4 pode ser explicado pela ocorrência de dois picos de vazão que podem ter trazido muita carga orgânica, pela elevação do nível da água,

adicionado ao fato do P4 ser menos profundo e pelo alto valor de radiação solar incidente nas últimas 24 horas.

Durante o período de estiagem houve um favorecimento no surgimento da vegetação nas margens expostas do entorno do reservatório. Quando este voltou a sua capacidade normal, esta vegetação submergiu e um processo de decomposição pode ter se iniciado, o que justificaria a renovação de nutrientes no corpo d'água, aumentando o nível de troficidade do reservatório como um todo (FERREIRA *et al.*, 2009).

A quinta campanha, ocorrida em 22/02/2007, forneceu a concentração de metano com uma média de 50,9 ppmv, com máximo no ponto P2 (média de 100 ppmv). Essas concentrações relativamente altas podem ser explicadas pelos picos de vazão afluentes.

Na sexta campanha, ocorrida em 09/05/2007, há diferenças entre as concentrações de metano nos quatro pontos, estando o ponto P1 com as menores concentrações (média de 21,3 ppmv) e o ponto P4 com as maiores (média de 114,5 ppmv). Isto pode ser explicado pela análise da figura 11, também pela instabilidade atmosférica observada pelo baixo índice de radiação solar e alto índice pluviométrico da estação de Pinhais, associado à direção e à intensidade de vento sobre uma área superficial considerável ocasionada pelo elevado nível da água. Esta instabilidade pode estar favorecendo a circulação da água dos pontos P4 e P3.

Na sétima amostragem, realizada em 14/06/2007, as maiores concentrações encontraram-se no ponto P2 (média de 186 ppmv) e as menores nos pontos P3 e P4 (média de 2,5 e 3 ppmv, respectivamente). Pode ser que as rajadas de vento vindas do norte estejam influenciando a concentração de P2.

Já na oitava campanha, realizada em 01/08/2007, observa-se que todos os pontos registram concentrações menores que 1 ppmv. Isso ocorre, pois a vazão anterior aliado ao elevado nível da água não elevou essa concentração.

A nona campanha, realizada em 03/10/2007, abrangeu apenas 2 medições e apresenta valores relativamente baixos de concentrações (média de 4,6 ppmv). Pela análise da figura 12 é possível observar um leve aumento na vazão dias antes da coleta, o que gerou um leve aumento nas concentrações de metano nos pontos P1, P2 e P3.

A décima e última campanha, realizada em 29/11/2007, detectou alta concentração de metano no ponto P4 (média de 76 ppmv) e mais baixa em P2 (média de 26,3 ppmv). Pode-se observar pela figura 12 que houve picos de vazão entre as duas últimas campanhas, o que pode ter causado um aumento na concentração de metano, aliado ao baixo nível do reservatório e a alta radiação solar incidente principalmente em áreas menos profundas tal como P4.

Todas essas relações precisam ser reavaliadas com maior número de amostragens, utilizando em conjunto com modelos computacionais adequados, tais como modelos hidrológicos e

hidrodinâmicos, para entender melhor o transporte de cargas orgânicas e/ou sedimentos e como elas se distribuem dentro do reservatório, associando com os dados meteorológicos. Observa-se que o vento pode ocasionar variação na circulação da água (KAN, 1996) de uma região, e essa circulação depende da direção, da intensidade e da duração do vento.

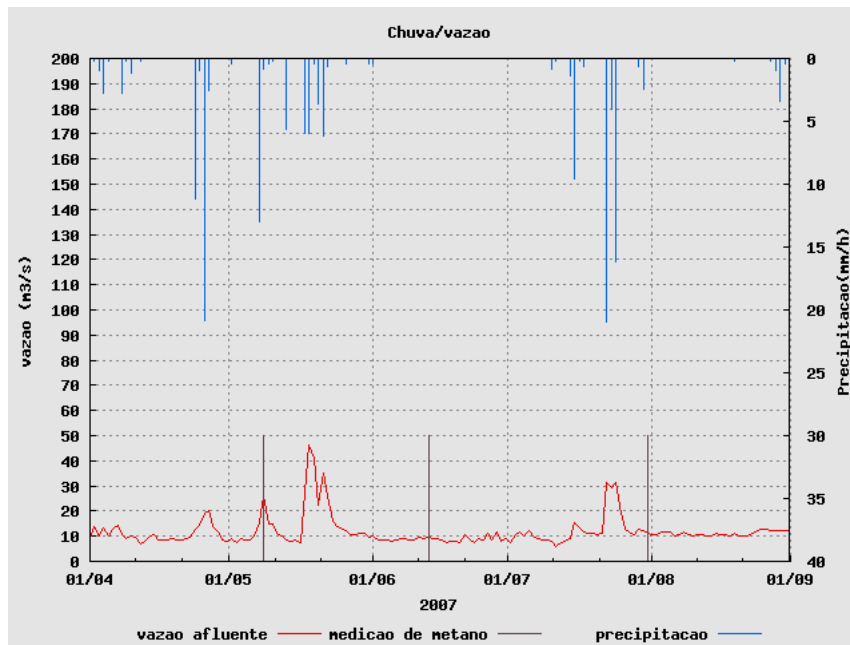


Figura 11 - Precipitação e vazão afluente no período de 01/04/2007 a 31/08/2007

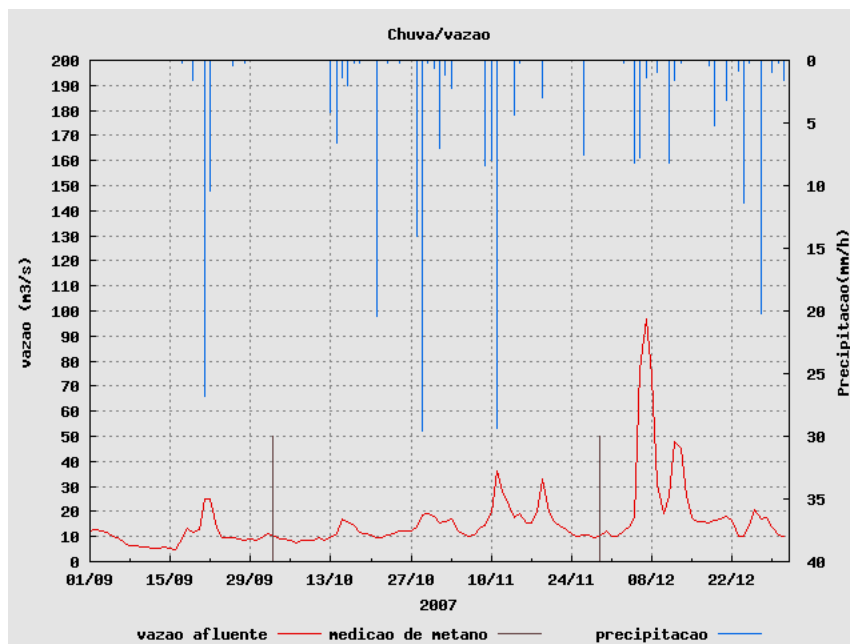


Figura 12 - Precipitação e vazão afluente no período de 01/09/2007 a 31/12/2007

6 – CONCLUSÃO

Os estudos realizados sobre emissões de metano em reservatórios de hidrelétricas são recentes e ainda muito controversos. A abordagem dessa pesquisa não era oferecer respostas, mas sim, tirar algumas conclusões a respeito da concentração de metano no reservatório de Capivari (PR). Verificou-se que as concentrações de metano no reservatório demonstraram clara dependência com a vazão e a cota do nível d'água.

Quando uma onda de cheia chega ao reservatório trás consigo material orgânico, o que é essencial para a produção de metano, pois quanto mais matéria orgânica disponível, maior é a taxa de produção de metano. A variação do nível d'água também influencia a taxa de produção de metano, pois o restabelecimento do nível normal do reservatório, pode encobrir a vegetação formada na encosta durante uma estiagem prévia, gerando mais metano pela decomposição dessa matéria orgânica.

Análises estatísticas foram realizadas com os dados da concentração de metano e dados hidrometeorológicos da região, contudo como havia poucos valores amostrados de concentração, as estimativas podem não apresentar valores verossímeis.

Apesar das análises realizadas não serem suficientes para a generalização para outros reservatórios, elas são suficientes para esclarecer a necessidade de um estudo hidrológico profundo no reservatório analisado, bem como, balizar futuras avaliações.

Recomenda-se que sejam realizados estudos que englobem a análise da hidrodinâmica do reservatório associada à vazão afluente, flutuações de níveis operativos e direção e velocidade do vento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Paranaense de Energia - COPEL e ao Instituto Tecnológico SIMEPAR pela disponibilidade dos dados requeridos a esse artigo.

BIBLIOGRAFIA

BAIRD, C. (2002). “O Efeito Estufa e o Aquecimento Global – Os Principais Gases Indutores do Efeito Estufa”, in Química Ambiental. Porto Alegre: Bookman, 2ª ed., pp 201 – 225.

FEARNSIDE, P. M. (2008). “Hidrelétricas como ‘fábricas de metano’: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa”. Oecologia Brasiliensis, 12(1), pp 100-115.

FERREIRA, R. S.; WILHELM, H. M.; TRINDADE, E.M.; BOND, P. S. (2009). “Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de metano proveniente de reservatórios de usinas hidrelétricas da COPEL na geração de energia” in Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Belém, Junho 2009.

KAN, A. (1996). Hydraulic analyses of the wind effects in the nearshore region using wind-wave tank. Dissertação de Mestrado, Kagoshima, Japão.

MICHELLIS Jr., D. (2007). “GEE - Gases de Efeito Estufa em Reservatórios”. São Paulo, 14/10/07. Disponível em: <[www.abrace.org.br/download/MT_DecioMichellis_GasesEfeito Estufa_14102007.pdf](http://www.abrace.org.br/download/MT_DecioMichellis_GasesEfeitoEstufa_14102007.pdf)>. Acesso em: 13 de abril de 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2009). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O.; ROCHA, C. H. E. A.; SIKAR, E.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. M. P.B. (2008). “Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas”. *Oecologia Brasiliensis*, 12(1), pp 116-129.

SUDERHSA - Política e Sistema Estadual de Recursos Hídricos. “Plano das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira”. Disponível em: < <http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 24 de abril de 2009.