



Variabilidade de concentração de metano na região do Pantanal Mato-grossense usando dados do satélite AQUA

[doi:10.4136/ambi-agua.1985](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1985)

Received: 16 Aug. 2016; Accepted: 03 Feb. 2017

**Tonny Jader de Moraes* ; Fernando da Silva Sallo; Carlo Ralph de Musis;
Luciana Sanches; Iramaia Jorge Cabral de Paulo; Rafael da Silva Palácios**

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) / Instituto de Física (IF), Cuiabá, MT, Brasil
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

*Autor correspondente: e-mail: tonny@fisica.ufmt.br,
fdss88@gmail.com, carlo.demusis@gmail.com, lsanches@hotmail.com,
iramaiaj@gmail.com, rafael.pgfa@gmail.com

RESUMO

A emissão de metano é um fator importante na gestão de áreas alagadas como o Pantanal. Zonas úmidas em todo o mundo contribuem para o ciclo global do CH₄, emitindo cerca de um terço do CH₄ global. No entanto, a dinâmica de CH₄ na atmosfera acima do Pantanal, continua mal compreendida. Neste trabalho estudou-se a variabilidade de CH₄ na atmosfera na região do Pantanal com base na série temporal de concentração de CH₄ (2003-2013), a partir de dados do sensor AIRS a bordo do satélite AQUA, e se analisou sua relação com a precipitação. A metodologia utilizada baseou-se em estatísticas descritivas que incluem médias semanais, anomalias baseadas na variância, correlação cruzada entre precipitação e concentração de CH₄, e transformada wavelet. Os resultados mostraram que existe uma concentração média sazonal e a variabilidade da anormalidade de CH₄ com uma precipitação é negativa. Variações sub-anuais de CH₄ foram inversamente proporcionais às de precipitação, devido possivelmente ao aumento da concentração de hidroxila [OH⁻] durante a estação chuvosa, o que diminui o saldo de emissão de CH₄. A análise wavelet permitiu observar um ciclo anual e interanual da concentração de CH₄ entre 2009 a 2013.

Palavras-chave: correlação cruzada, precipitação, wavelet.

Methane concentration variability in Pantanal region in the Mato Grosso State using data from AQUA satellite

ABSTRACT

Methane emission is an important factor in the management of wet areas such as the Pantanal region. The temporal variability of CH₄ concentrations on the Pantanal was therefore studied using remote sensing data from 2003 to 2013 from an AIRS sensor on board of AQUA satellite. Wetlands worldwide contribute to the overall CH₄ cycle, emitting around one-third of the overall CH₄. However, the dynamics of CH₄ remain poorly understood in the Pantanal. This work studied the variability of CH₄ in the atmosphere over the Pantanal of Mato Grosso, based on the time series of CH₄ concentration (2002-2013). The methodology used was based on descriptive statistics that included weekly averages, variance anomalies, cross-correlation between precipitation and concentration of CH₄, and the transformed wavelet technique. The

results showed a seasonal average concentration and the variability of CH₄ abnormality in a negative cross-correlation with precipitation. Sub-annual variations of CH₄ were inversely related to precipitation, and seemed to be influenced by the concentration of hydroxyl [OH⁻] during the rainy season, which reduces the balance of CH₄ emissions. The wavelet analysis found an annual and inter-annual cycle of CH₄ concentration between 2009-2013.

Keywords: cross-correlation, rainfall, wavelet.

1. INTRODUÇÃO

O metano (CH₄) é o composto químico orgânico mais abundante da atmosfera. Vários estudos indicam que sua concentração vem aumentando de aproximadamente 722 ppb em 1750, para 1802 ± 1 ppb (Dlugokencky et al., 2011) atingindo mais que o dobro desde o período pré-industrial (Bousquet et al., 2006). As áreas alagáveis são importantes por serem sensíveis as modificações climáticas e são os maiores emissores naturais de CH₄, sendo que o seu aumento pode atuar como uma retroalimentação positiva para o aquecimento futuro (Melton et al., 2013).

As áreas alagáveis são a maior fonte natural de CH₄ na atmosfera, contribuindo 145 Tg ano⁻¹, o que corresponde a cerca de 24% da emissão total de todas as fontes, e são especialmente importantes durante o período das chuvas (Bousquet et al., 2011). No Brasil há um alagamento sazonal em grandes áreas como a região Amazônica e o Pantanal. A inundação sazonal do Pantanal traz um conjunto de características distintas em suas dinâmicas de nutrientes e pulso de inundação (Vourlitis et al., 2013). Nessa área a vazão de água é reduzida, formando um ambiente favorável à deposição e posterior degradação da matéria orgânica de forma aeróbica e anaeróbica, resultando na formação de gases CO₂ e CH₄.

Uma das alternativas para construção de modelos para estimativa das emissões de CH₄ é via uso de informações obtidas por sensoriamento remoto, viabilizando estudo em locais com poucas informações coletadas *in loco*. Por exemplo, estudos demonstraram a viabilidade e a vantagem de utilizar o sensor Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) a bordo da plataforma AQUA, para inferir e monitorizar a concentração de gases na atmosfera, oferecendo uma grande oportunidade para coletar e inferir a concentração de alguns gases-traço de efeito de estufa na atmosfera da Terra (Xiong et al., 2013; Costa et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi quantificar a concentração de CH₄ no Pantanal Mato-grossense, analisar a variabilidade temporal da concentração de metano na atmosfera em função da variabilidade de precipitação pluviométrica por meio de correlação cruzada, bem como avaliar a dinâmica da concentração do gás CH₄ por meio da análise wavelet (ou ondoleta) com base na série temporal de 2002-2013.

2. MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi realizado em uma área no Norte do Pantanal Mato-grossense compreendida entre as coordenadas (17°37'19,20"S, 58°19'4,80"O) e (16°19'40,80"S, 56°44'34,80"O) (Figura 1), altitude entre 80 a 120 m. A região está sob domínio climático Aw, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma seca, de abril a setembro e outra úmida, de outubro a março, com precipitação média anual superior a 1300 mm.

Os dados utilizados de CH₄ foram estimados pelos sensores AIRS a bordo do satélite AQUA, no período 2002-2013, com concentrações médias diárias de taxa de mistura de CH₄ (VMR, volume mixing ratio) para três níveis de pressão atmosférica (160,5; 260; 359 hPa). Os dados AIRS são distribuídos pela NASA *Goddard Earth Sciences Data Information and Services Center (DISC)*. A resolução espacial é 1° por 1° de latitude e longitude, com

periodicidade diária e cobertura global. Além disso, foram utilizados dados de precipitação média diária (mm dia^{-1}) obtidos pelo produto TRMM (*Daily TRMM and Other Rainfall Estimate*) no período de 2002-2015.

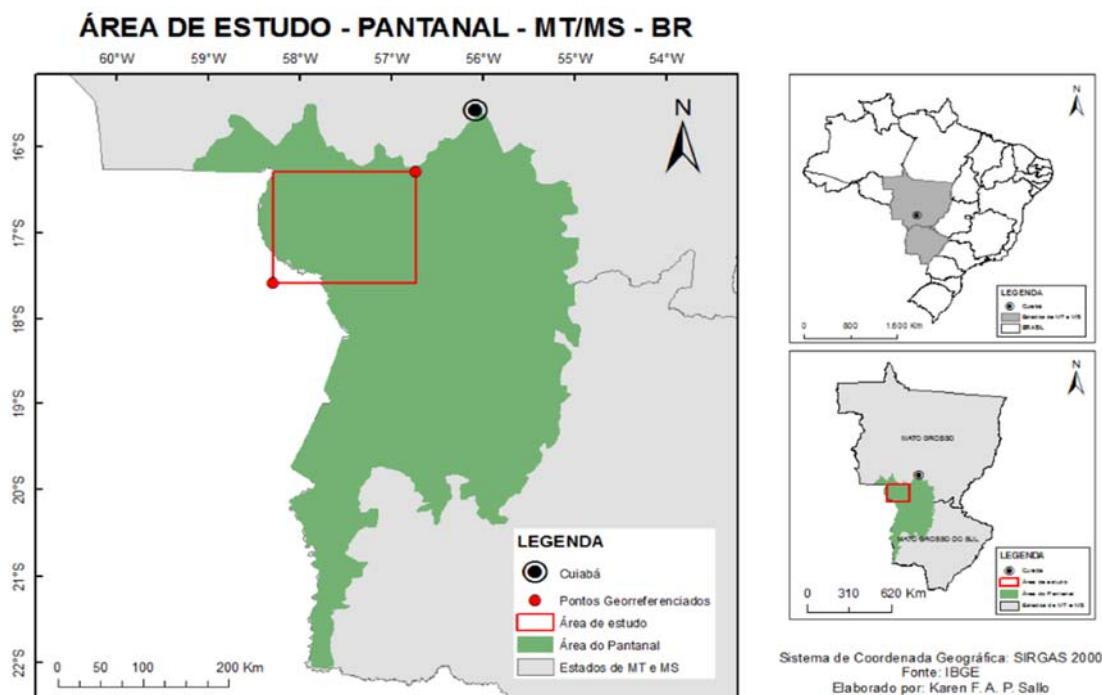


Figura 1. Localização da área de estudo georreferenciada e delimitada pelos pontos e pela linha em vermelho, aproximadamente 60 km da cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. A área de estudo abrange pouco mais de 2 pixels.

As investigações sobre a modulação de taxa de mistura de CH_4 no Pantanal foi realizada inicialmente pelo cálculo das médias de 8 dias e desvio padrão (DP) da concentração de CH_4 nos três perfis de pressão atmosféricas. Esse procedimento propiciou um exploratório para variabilidade temporal. Em seguida foi removida a variabilidade anual da série para os três níveis de pressão através do cálculo da anomalia e da anomalia acumulada, com objetivo de analisar a variabilidade interanual da concentração de CH_4 no período 2002-2013.

As variações temporais da concentração de CH_4 foram avaliadas por meio da análise de ondoleta, que possibilitam a decomposição da série como uma função de tempo e da frequência. A ondoleta Morlet é uma função do tempo t , composta por uma exponencial complexa e modulada por uma exponencial gaussiana (Torrence e Compo, 1997). A função é da família ondoletas complexas não ortonormais dada pela Equação 1.

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{i w_0 t} e^{-1/2t^2}, \text{ para } w_0 \geq 5 \quad (1)$$

em que:

Ψ é o valor ondoleta para um parâmetro adimensional t ,

w_0 a frequência adimensional. Admite-se $w_0 = 6$ para satisfazer a condição de admissibilidade; deste modo a função deve ter média zero e ser localizada tanto no espaço tempo como na frequência (Torrence e Compo, 1997).

A ondoleta foi utilizada pelos autores Torrence e Compo (1997) e Beecham e Chowdbury (2010) na análise de séries temporais de precipitação. A técnica foi utilizada na análise de fluxo e concentração de CH_4 na atmosfera por Koebsch et al. (2015) e Costa et al. (2013). Neste

estudo, a análise de ondoleta foi aplicada utilizando-se o algoritmo elaborado por Torrence e Compo (1997).

Para as análises da série temporal de precipitação efetuou-se a média, anomalia e anomalia acumulada, usando como base o tempo mensal do período 2002-2013. Essa análise exploratória possibilitou observar padrões não-sazonais e variações ao longo da série. Posteriormente, realizou-se a análise de correlação cruzada em escala semanal para as séries de anomalia de chuva e anomalia de concentração de CH₄ para o mesmo período de dados da precipitação 2002-2013.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Observa-se uma relação entre as séries da concentração de CH₄ e a precipitação, sendo possível observar máximos coincidentes (Figura 2). Detectou-se sazonalidade nas concentrações de CH₄ nos níveis de pressão (Figura 2), com as maiores concentrações no nível de 359 mb com média (\pm DP) 1766 ± 10 ppbv. Ao nível de pressão de 160 mb, a média (\pm DP) da concentração foi 1728 ± 17 ppbv, apresentando maior amplitude entre as concentrações máximas e mínimas. Também, é mais aparente a sazonalidade da concentração do CH₄ em nível de pressão 160 mb, com uma média (\pm DP) de 1728 ± 17 ppbv, porém menos evidente em 359 mb. Esse resultado foi semelhante aos trabalhos de Costa et al. (2013) e Ribeiro et al. (2016), que trabalharam com dados de sensoriamento relativos a áreas alagadas no Estado do Amazonas. Do mesmo modo, houve uma diminuição da concentração de CH₄ em função da diminuição dos níveis de pressão, sendo justificada pelos principais processos de remoção de CH₄ da atmosfera, que são a reação de CH₄ com radicais hidroxila (OH) na troposfera e estratosfera e com átomos de oxigênio na estratosfera (Dlugokencky et al., 2011). Resultados semelhantes também foram obtidos por Alvalá et al. (2004), que analisaram a concentração de CH₄ na região do Atlântico Sul com medidas realizadas a 25 km da costa brasileira, utilizando a método trajetórias isentrópicas, observando uma variação sazonal com uma média (\pm DP) de 1707 ± 8 ppbv.

Durante a estação seca (maio a setembro), verificou-se a média (\pm DP) das concentrações de CH₄ de 1736 ± 16 ; 1754 ± 10 e 1765 ± 11 ppbv nos níveis pressão 160,5; 260 e 359 mb, respectivamente. Enquanto que durante a estação chuvosa (janeiro a abril) as médias (\pm DP) foram 1720 ± 14 ; 1746 ± 11 e 1751 ± 16 ppbv em nível de pressão 160,5; 260 e 359 mb, respectivamente. As maiores concentrações de CH₄ durante a estação seca, de acordo com Spivakovsky et al. (1990) e McNorton et al. (2016), podem ser explicadas pela sazonalidade do radical OH na troposfera e estratosfera. Ainda Spivakovsky et al. (1990) sugerem que, na latitude próxima à região de estudo, a concentração de OH é maior no período chuvoso, servindo como sumidouro de CH₄. Conforme observado por Marani e Alvalá (2006), a variação de fluxo de CH₄ está associada à variação anual de área alagada no pantanal, que por sua vez está relacionada a sazonalidade de precipitação. De acordo com os resultados de Ribeiro et al., (2016), ocorre um pico de precipitação seis meses antes do maior pico de concentração de CH₄, na região da Amazônia. E ainda Bastviken et al. (2010), sugerem que o metabolismo de matéria orgânica está relacionado à estação hidrológica - com a crescente das águas no Pantanal, ocorre a maior taxa de metabolismo de matéria orgânica.

É possível observar um padrão das anomalias ao longo de toda a série, entretanto foi notado um aumento das anomalias positivas a partir de 2007 e, posteriormente, aumento das anomalias negativas após 2011 (Figura 3A). Este resultado pode ser verificado (Figura 3A) pelas séries de anomalia acumulada, onde é possível observar uma tendência de diminuição da precipitação nos primeiros 4 anos da série e, posteriormente, aumento das anomalias positivas em 2007, e após 2011 apareceu aumento de anomalias negativas. Esse resultado foi consistente com o de

Penatti et al. (2015), que verificaram, por sensoriamento remoto, mudanças espaço-temporais das variáveis do balanço hídrico no Pantanal. Anomalias positivas de estoque de água terrestre medidos foram maiores nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2011, com menor pico ocorrido em 2012. Hamilton et al. (2002) destacaram que a maior parte da variabilidade climática observada é conduzida pelas anomalias na temperatura superficial das águas do Oceano Pacífico, com os fenômenos *El Niño* e *La Niña* influenciando diretamente na taxa de precipitação na bacia pantaneira e seus afluentes. Nesse contexto, um fator importante na emissão de CH₄ no Pantanal para a atmosfera é a extensão espacial da área alagada. Essa extensão é primariamente controlada pela variação sazonal do nível dos rios e pelo acúmulo de água da precipitação. Com base em dados de satélite, Hamilton et al. (2002) obtiveram estimativas sobre o alagamento no Pantanal, os quais foram utilizados para estimativas de emissão de CH₄ do Pantanal.

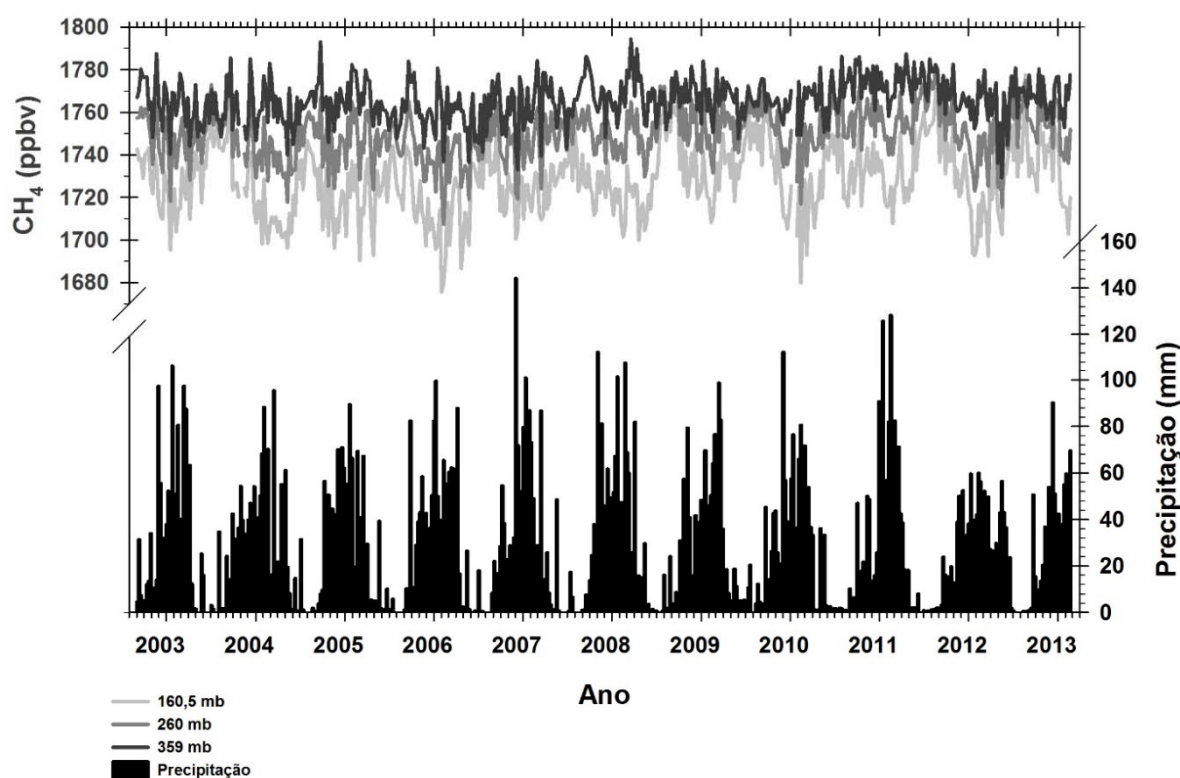


Figura 2. Série temporal de concentração média de 8 dias de CH₄, e de precipitação sobre a região do Pantanal Mato-grossense, de 2002 a 2013. As linhas em tom de cinza (acima) com escala a esquerda em três níveis de pressão atmosférica, iniciando mais acima na escala 359 mb, 260 mb e 160,5 mb, terminando mais abaixo na escala, respectivamente. Na parte inferior da figura em preto com escala à direita, observa-se a série de precipitação.

Nas análises da anomalia da concentração de CH₄ (Figura 3) observa-se que em geral houve aumento das anomalias positivas de concentração de CH₄ a partir de 2007 em todos os níveis de pressão atmosférica, sendo menos evidente no nível 359 mb (Figura 3C). Nota-se também a predominância de negativos das anomalias entre os anos de 2003 a 2007. Contudo, a maior variabilidade da anomalia ocorreu no nível de pressão 160 mb (Figura 3A), entre 49,6 a -52,6 ppbv. A tendência da dinâmica de concentração de CH₄ pode ser observada na série de anomalia acumulada (Figura 3) pelo decréscimo da concentração de CH₄ para 2002-2006, e aumento em 2007 a 2013, nos níveis de pressão analisados.

Na anomalia acumulada da precipitação (Figura 3D) observa-se dois comportamentos que governam as oscilações das anomalias de CH₄. O primeiro refere-se às variações sub-anuais de CH₄, que é inversamente proporcional ao ciclo anual de precipitação. O segundo refere-se ao aumento da concentração de CH₄ a partir de 2008, que tem origem do aumento progressivo do alagamento a partir de 2006 até 2012. O aumento de alagamento estar relacionado as variações interanuais de precipitação, que por sua vez estão relacionadas com os fenômenos de *El Niño* e *La Niña* (Ribeiro et al., 2016).

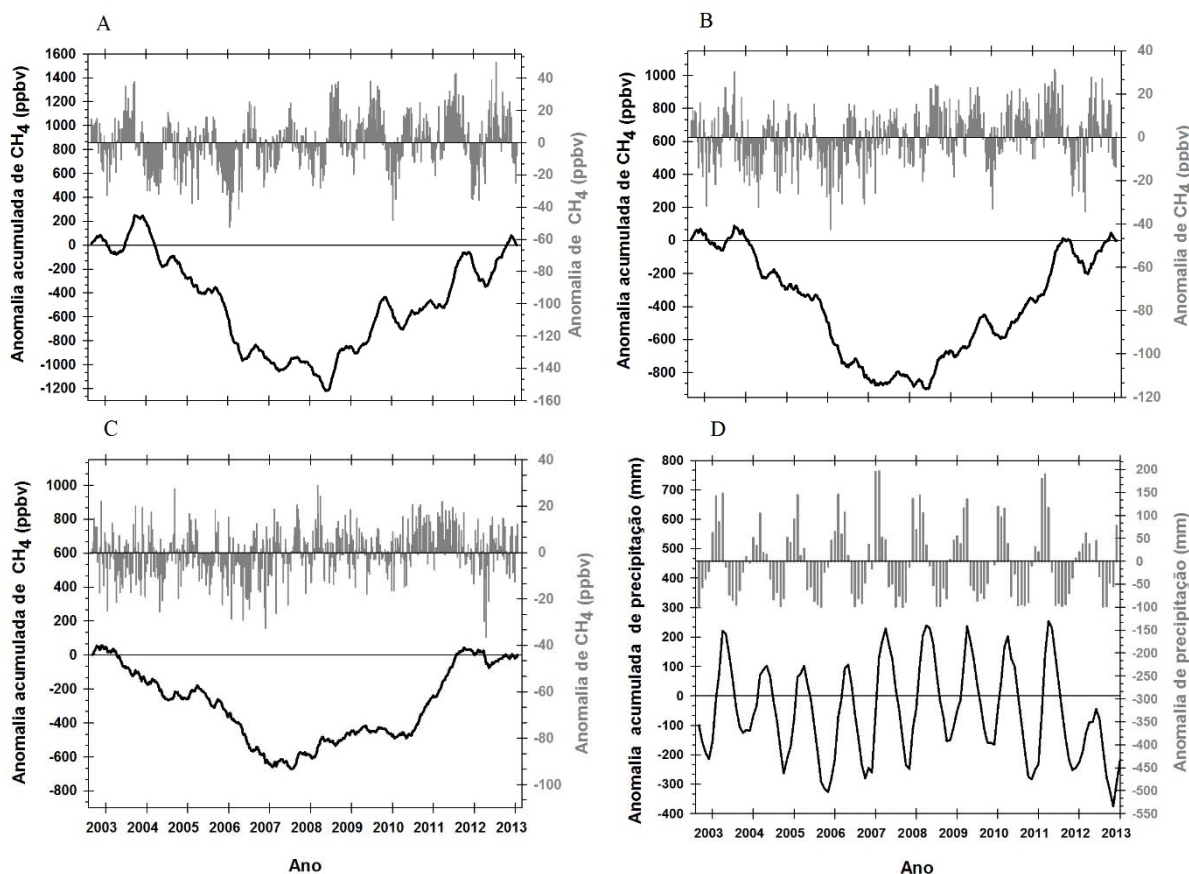


Figura 3. Variabilidade e tendência na concentração de CH₄ e precipitação na atmosfera ao longo da série histórica. A variação interanual de anomalia de CH₄ e precipitação pode ser observada na escala à direita em cinza. Na escala à esquerda na cor preta à anomalia acumulada, observa-se a tendência de acréscimo e decréscimo de concentração de CH₄ e precipitação ao longo da série. Análises para os níveis 359 mb (C), 260 mb (B) e 160 mb (A) de pressão atmosférica e precipitação (D).

Essa variabilidade interanual da concentração de CH₄ (Figura 3A) pode ser explicada pela variabilidade interanual de precipitação (Figura 3D), com aumento das anomalias de precipitação e consequente aumento das áreas alagadas. Conforme Bousquet et al. (2006), áreas úmidas tem papel dominante na emissão de CH₄ para atmosfera, variando em torno de (± 12 Tg CH₄ ano⁻¹) explicando 70% das anomalias globais durante as duas últimas décadas. A variabilidade do CH₄ em escala regional, como é o caso, está em concordância com a precipitação acumulada, sendo possível afirmar que existe uma correlação negativa entre as mesmas, justificada pelo pico máximo de precipitação coincidir com o mínimo de concentração de CH₄, comparadas no mesmo período 2002-2013 e mesma resolução temporal de 8 dias. A análise da série temporal da anomalia de concentração de CH₄ com relação à anomalia de precipitação a partir de correlação cruzada determinou o tempo de defasagem entre as séries a

fim de estabelecer o grau de associação entre estas (Figura 4). Verifica-se que para uma defasagem igual a zero a correlação é negativa, mostrando de forma geral que um aumento na altura precipitada reduz a emissão de CH₄. Por outro lado, observam-se coeficientes de defasagem positivos em média 24 semanas depois dos picos negativos de defasagens, onde há as alturas maiores de precipitação. Isso é indicativo de que a diminuição da precipitação no Pantanal Mato-grossense influencia no aumento da emissão de CH₄ para a atmosfera após aproximadamente 24 semanas, acompanhado por um decréscimo subsequente. Em medidas de superfície, a emissão de CH₄ é maior no período chuvoso (Alvalá e Kirchhoff, 2000; Marani e Avalá, 2006; Da Silva et al., 2016). Contudo, existe um certo atraso entre o pico de chuva e pico de emissão de metano (Marani e Avalá, 2007) devido ao intervalo de tempo necessário para os processos de aumento do nível da lâmina d'água e aumento da metabolização anaeróbica pelas bactérias (metanogênicas) (Da Silva et al., 2016). Além disso, existe um intervalo entre os picos de emissão de superfície e o aumento da concentração na alta atmosfera (Ribeiro et al., 2016).

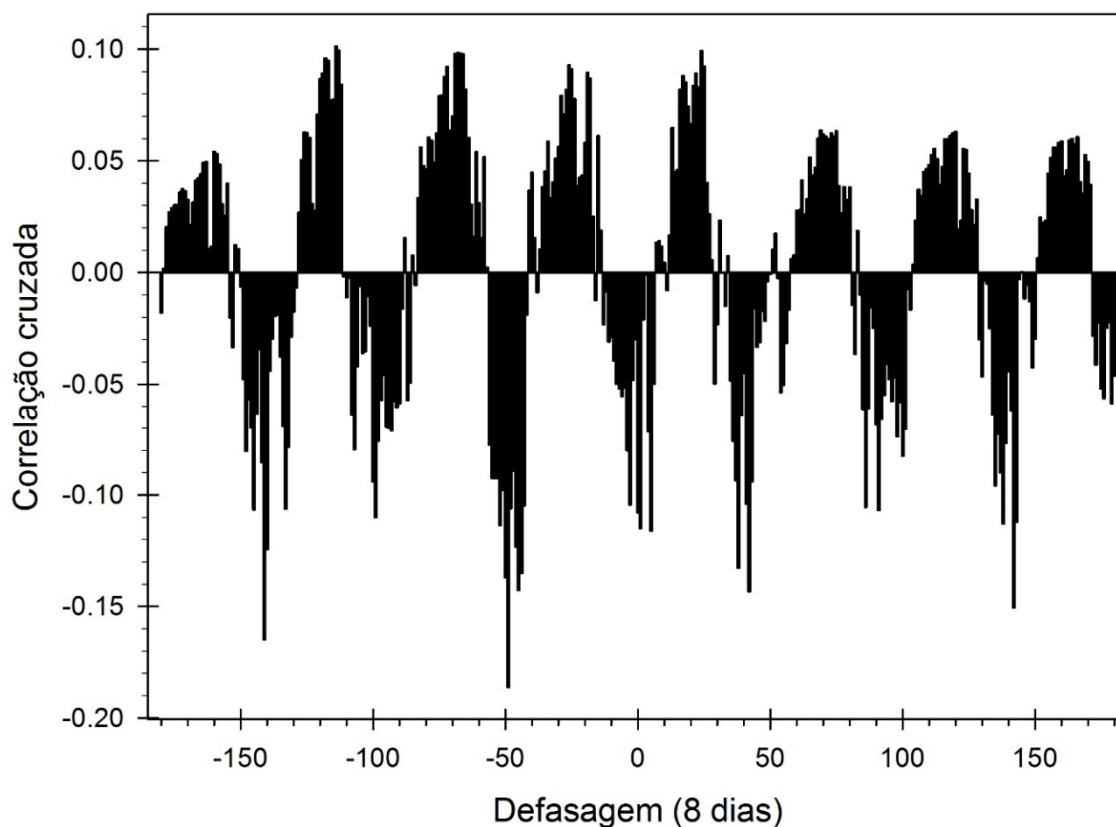


Figura 4. Correlação cruzada entre a série temporal de anomalia de precipitação e anomalia concentração do CH₄ do período de 2002-2013. A escala defasagem representa o tempo de resposta do CH₄ em relação à variação da precipitação.

Resultados de emissões pontuais e curto intervalo de tempo são reportados por vários estudos sendo incapazes de mostrar a dinâmica das emissões. Bastviken et al. (2010), mediram o fluxo de CH₄ em 16 lagos na região do Pantanal Mato-grossense, realizando uma extrapolação utilizando a média de área alagada (38880 km²). O Pantanal produz um fluxo de 1,9 Tg CH₄ ano⁻¹. Estes resultados podem ser comparados aos de Marani e Alvalá (2006), que analisaram locais próximos ao rio Miranda também na região do Pantanal Mato-grossense, e ao utilizarem uma média maior de área alagada, obtiveram o valor de 3,3 Tg CH₄ ano⁻¹, que representa 3,3% da contribuição global de áreas alagadas. Os fluxos difusivos são

correlacionados principalmente com características físico-químicas relacionadas ao aumento de matéria orgânica durante o alagamento no Pantanal (Da Silva et al., 2016). Áreas alagadas que compreendem florestas, ou que estão próximas a rios no Pantanal, tem altas taxas de produtividade bruta primária, altas temperaturas e elevada radiação solar, resultando no aumento da taxa de decomposição, que por sua vez contribui no acréscimo de fluxo de CH₄ para atmosfera (Bastviken et al., 2010).

Na análise da transformada ondoleta é possível identificar pela Figura 5A dois ciclos com intensidades de energia predominantes ao longo da série temporal de concentração de CH₄ em nível de pressão 260 mb (2002-2013). Assim observa-se pela faixa da escala de cor no espectro de potência da Figura 5A que ocorreram ciclos na escala anual ± 1 ano de 2004 a 2011. O segundo ciclo foi interanual de ± 2 anos de 2005 a 2011, com o conjunto de valores significativos delimitados pelo cone de influência. Este ciclo interanual de concentração de CH₄ também foi observado por Marani e Alvalá (2006). Como também, ciclos aproximadamente anuais, mas de maior intensidade de energia (escala de 50 a 60 no espectro de potência ondoleta), ocorreram em período de 2006 a 2011. A intensidade de energia no período de 2006-2011 identificada na análise ondoleta, pode ser justificada pelo aumento na anomalia de precipitação.

Observa-se pelo espectro de potência global (Figura 5B), que os ciclos anual e interanual contêm as maiores variâncias, e além disso a variância do ciclo anual é maior e está, a maior parte, dentro do limite significativo.

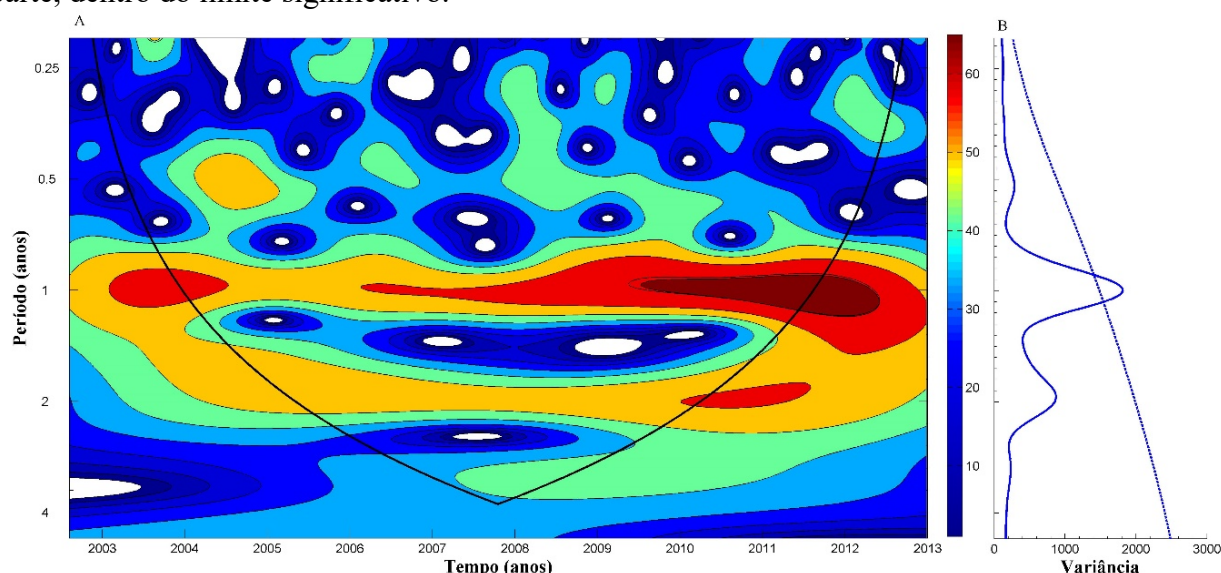


Figura 5. (A) Espectro de potência ondoleta. A região delimitada pela linha curva em forma de U representa o cone de influência (nível de 95% de significância). (B) Espectro de potência global (linha azul). A linha pontilhada em azul é o nível de significância de 95% para o espectro global.

O resultado pode ser explicado pela variabilidade interanual observada pela anomalia da concentração de CH₄. Portanto, a análise ondoleta reforça o resultado observado pela análise de anomalia de concentração de CH₄. Houve variabilidade interanual e características cíclicas tanto em escala anual como interanual de concentração de CH₄. O ciclo de maior predominância da periodicidade (acima de 60) foi aproximadamente 0,9 a 1 ano de ocorrência na segunda metade de 2009, em que esse ciclo variava entre a faixa 0,9 a 1,3 (Figura 5A) até meados de 2012; mas ele foi significativo até 2011 conforme delimitação da curva em forma de U (cone de influência na Figura 5A), justificado pela sazonalidade anual da precipitação no Pantanal. O cone de influência também indica que nenhum ciclo é significativo acima de 4 anos. Esses

resultados são semelhante ao de Costa et al., (2014) e Ribeiro et al., (2016) com dados de sensoriamento relativos a áreas alagadas no Estado do Amazonas.

4. CONCLUSÃO

A investigação sobre o CH₄ na atmosfera possibilitou analisar perturbações importantes na variabilidade da série temporal de concentração de CH₄ sobre a região do Pantanal Mato-grossense de 2003-2013. Primeiramente observou-se um padrão sazonal da concentração de CH₄ consistente com a sazonalidade da precipitação. Em escala anual, uma maior altura precipitada ocasionou maior concentração de CH₄. Entretanto, em escala semanal observou-se pela análise de correlação cruzada que existe correlação negativa entre anomalia de chuva e concentração de CH₄ na atmosfera com defasagem de 24 semanas, ocorrendo maior concentração de CH₄ durante a estação seca. Esta defasagem corresponde ao intervalo de tempo necessário para a ampliação de área alagada como condição favorável a uma maior quantidade de decomposição de biomassa, que ocasiona emissões de CH₄ para a atmosfera durante a estação subsequente. Ela também pode estar relacionada a um consumo de CH₄ pelo radical OH[•], que é seu principal sumidouro na atmosfera no período chuvoso.

Detectou-se variabilidade interanual de CH₄ ao longo do período de 2002-2013, com aumento das anomalias positivas a partir de 2007, possivelmente relacionada ao acréscimo de anomalias positivas de precipitação a partir de 2006. Na análise ondoleta, observou-se ciclos anuais que ocorrem ao longo de quase toda série de temporal, variando entre 0,9 a 1,3 anos intensificando a partir de 2009 até 2013, indicando estar relacionado com a sazonalidade da precipitação e com um incremento da concentração de CH₄. Contudo, houve ciclos interanuais variando aproximadamente de 1,5 a 2 anos.

Análises da concentração de CH₄ sobre o Pantanal fornecem contribuições importantes sobre a dinâmica do CH₄ na média e alta troposfera. Essas informações podem dar suporte a gestão de hídricos, e ainda ajudar no conhecimento de futuras mudanças climáticas e delinear estratégias de mitigação.

5. REFERÊNCIAS

- ALVALÁ, P. C.; BOIAN, C.; KIRCHHOFF, V. W. J. H. Measurements of CH₄ and CO₂ during ship cruises in the South Atlantic. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 4583-4588, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.042>
- ALVALÁ, P. C.; KIRCHHOFF, V. W. J. H. Methane fluxes from the Pantanal floodplain in Brazil: seasonal variation. In: VAN HAM, J.; BAEDE, A. P. M.; MEYER, L. A.; YBEMA, R. (Eds.). **Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation**. Netherlands: Springer, 2000. p. 95-99. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-9343-4_6
- BASTVIKEN, D.; SANTORO, A. L.; MAROTTA, H.; PINHO, L. Q.; CALHEIROS, D. F.; CRILL, P. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 14, p. 5450-5455, 2010. <http://dx.doi.org/10.1021/es1005048>
- BEECHAM, S.; CHOWDHURY, R. K. Temporal characteristics and variability of point rainfall: a statistical and Wavelet analysis. **International Journal of Climatology**, v.30, p. 458-473, 2010. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1901>

- BOUSQUET, P.; CIAIS, P.; MILLER, J. B.; DLUGOKENCKY, E. J.; HAUGLUSTAINE, D. A.; PRIGENT, C. et al. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. **Nature**, v.443, p. 439-443, 2006. <http://dx.doi.org/10.1038/nature05132>
- COSTA, P. S.; SILVA, J. V.; SOUZA, R. A. F.; SOUZA, R. V. A.; JÚNIOR, N. P. F.; CARTAXO, E. F. Monitoring of Methane on Dams of hydroelectrics of the Amazon Basin from the Aqua Satellite information. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.4, p. 19-30, 2013.
- DA SILVA, M. G.; ALVALÁ, P. C.; MARANI, L.; FERREIRA, W. J. Análise da influência de parâmetros ambientais no fluxo de metano em áreas alagáveis e lagoas permanentes na região do Rio Abobral, no Pantanal, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 327-338, 2016. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1775>
- DLUGOKENCKY, E. J.; NISBET, E. G.; FISHER, R.; LOWRY, D. Global atmospheric methane: budget, changes and dangers. **Royal Society Publishing**, v.369, p.2058-2072, 2011. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2010.0341>
- HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p. 1-14, 2002. <http://dx.doi.org/10.1029/2000jd000306>
- KOEBSCHE, F.; JURASINSKI, G.; KOCH, M.; HOFMANN, J. Controls for multi-scale temporal variation in ecosystem methane exchange during the growing season of a permanently inundated fen. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.204 p. 94-105, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.002>
- MARANI, L.; ALVALA, P. C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. **Atmospheric Environment**, v.41, p.1627-1633, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.046>
- MELTON, J. R.; WANIA, R.; HODSON, E. L.; POULTER, B.; RINGEVAL, B.; SPAHNI, R. et al. Present state of global wetland extent and wetland methane modelling: conclusions from a model intercomparison project (WETCHIMP). **Biogeosciences**, v. 10, p. 753-788, 2013. <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-000F-ED12-B>
- MCNORTON, J.; CHIPPERFIELD, M. P.; GLOOR, M.; WILSON, C.; FENG, W.; HAYMAN, G. D. et al. Role of OH variability in the stalling of the global atmospheric CH₄ growth rate from 1999 to 2006. **Atmospheric Chemistry and Physics**, p. 1-24, 2016. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-2015-1029>
- PENATTI, N. C.; RIBEIRO, A. T. I.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E.; COE, M. T. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, p. 1-13, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.031>
- RIBEIRO, I. O.; DE SOUZA, R. A. F.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; DOS SANTOS COSTA, P. Spatiotemporal variability of methane over the Amazon from satellite observations. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 33, n. 7, p. 852-864, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s00376-016-5138-7>

- SPIVAKOVSKY, C. M.; YEVICH, R.; LOGAN, J. A.; WOFSEY, S. C.; MCELROY, M. B.; PRATHER, M. J. Tropospheric OH in a three-dimensional chemical tracer model: An assessment based on observations of CH₃CCl₃. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 95, n. D11, p. 18441-18471, 1990. <http://dx.doi.org/10.1029/JD095iD11p18441>
- TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p. 61-78, 1997. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079%3C0061:APGTWA%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079%3C0061:APGTWA%3E2.0.CO;2)
- VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A.; LAWRENCE, S.; LUCENA, I. C.; PINTO Jr., O. B.; DALMAGRO, H. J.; et al. Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna (Cerrado) in Southern Mato Grosso. **Forest, Range & Wildland Soils**, p. 1370-1379, 2013. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0336>
- XIONG, X.; BARNET, C.; MADDY, E.; WOFSEY, S. C.; CHEN, L.; KARION, A. et al. Detection of methane depletion associated with stratospheric intrusion by atmospheric infrared sounder (AIRS), **Geophysical Research Letters**, v.40, p. 2455-2459, 2013. <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50476>