

DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CH₄ NA AMAZÔNIA BRASILEIRA UTILIZANDO PERFIS VERTICAIS DE AVIÃO

Luana S. Basso¹, Luciana V. Gatti², Luciano Marani³, Lucas G. Domingues⁴, Stephane P. Crispim⁵, Raiane A. L. Neves⁶

^{1,2,3,4,5,6} Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP, Brasil

^{2,4}Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo – SP, Brasil

¹luanabasso@gmail.com / luana.basso@inpe.br, ²luciana.gatti@inpe.br / lvgatti@gmail.com, ³lmarani@gmail.com, ⁴lgtdomingues@gmail.com, ⁵stephane.crispim@gmail.com, ⁶raiane.lopesneves@gmail.com,

1. Introdução

No panorama atual de mudanças climáticas, o Metano (CH₄) é considerado o segundo principal gás de efeito estufa antrópico. Sua concentração na atmosfera era de aproximadamente 722ppb no período pré-industrial, porém o aumento das emissões por fontes antropogênicas é responsável pelo incremento de 257% na concentração atmosférica de CH₄, sendo a sua média global em 2017 de 1859 ± 2 ppb. Atualmente as fontes antrópicas de CH₄ para a atmosfera excedem as fontes naturais, aproximadamente 60% da emissão global de CH₄ para a atmosfera é proveniente de fontes antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, os ruminantes, a cultura de arroz, dentre outros, enquanto as fontes naturais representam aproximadamente 40%, como as áreas alagadas (WMO, 2018).

A taxa média de crescimento anual de CH₄ diminuiu de aproximadamente 12 ppb ano⁻¹ durante o final dos anos 80 para perto de zero durante o período de 1999-2006. Mas, desde 2007 a concentração de CH₄ na atmosfera vem aumentando novamente. Estudos usando as medidas de CH₄ das estações da rede GAW/WMO (*Global Atmosphere Watch/World Meteorological Organization*) indicam que o aumento das emissões de CH₄ de áreas úmidas nos trópicos e de fontes antropogênicas em latitudes médias do hemisfério norte são causas prováveis deste aumento recente (WMO, 2018).

Na Amazônia e em áreas tropicais foram realizados alguns estudos para estimar a emissão de CH₄ (Tabela 1), pode-se observar uma grande variação nestas estimativas, que

podem ser relacionadas a diferentes áreas e períodos de estudo e/ou variações nas emissões, portanto o papel da Amazônia na emissão de CH₄ ainda não está bem definido.

Tabela 3. Estimativa das emissões de CH₄ para a Amazônia e áreas tropicais.

Emissões de CH ₄ (Tg CH ₄ ano ⁻¹)		Descrição da área de estudo
Matthews and Fung, 1987	32	Estimativa para áreas alagadas na região tropical (20°N-30°S)
Melack <i>et al.</i> , 2004	29	Estimativa para áreas alagadas na Amazônia (5 milhões de km ²)
Carmo <i>et al.</i> , 2006	4 - 38	Estimativa para áreas de terra firme na Amazônia (5 milhões de km ²)
Miller <i>et al.</i> , 2007	49	Extrapolando o fluxo médio de 27mg CH ₄ m ⁻² dia ⁻¹ para 5 milhões de km ²
Frankenberg <i>et al.</i> , 2008	79	Estimativa para área tropical da América do Sul (entre 15°S–15°N e 180° O–30° O)
Bergamaschi <i>et al.</i> , 2009	44,2	Estimativa para a área da Bacia Amazônica (8 milhões de km ²)
Bloom <i>et al.</i> , 2012	26,6	Estimativa para áreas alagadas na Amazônia
Kirschke <i>et al.</i> , 2013	28	Estimativa para região tropical sul-americana (2000-2009), com estimativas top-down
Kirschke <i>et al.</i> , 2013	58	Estimativa para região tropical sul-americana (2000-2009), com estimativas bottom-up

Observando a importância do CH₄ como um importante GEE, e as variações nas estimativas regionais da emissão de CH₄ nas regiões tropicais, principalmente na Bacia Amazônica, este estudo tem como motivação determinar as concentrações de CH₄ na Amazônia utilizando medidas atmosféricas de perfis verticais de avião.

Palavras chave: Metano, Gases de Efeito Estufa, Amazônia, Mudanças Climáticas.

2. Metodologia

Desde 2000 perfis verticais com avião de pequeno porte vem sendo realizados na região de Santarém (SAN – 2.86°S 54.9°O), no estado do Pará, sobre a Floresta Nacional do Tapajós. A partir de 2010, com a execução do projeto AMAZONICA e atualmente com a execução do projeto CARBAM, vem sendo realizados perfis verticais com aviões de pequeno porte quinzenalmente em mais três localidades na Amazônia Brasileira, além de SAN (Figura 1): Alta Floresta (ALF 8.80°S 56.7°O) no estado do Mato Grosso, Rio Branco (RBA - 9.38°S 67.6°O) no estado do Acre, Tabatinga (TAB - 5.96°S 70.1°O) no estado do Amazonas, o qual foi desativado no ano de 2013, e Tefé (TEF – 3.31°S 65.8°W), iniciado em 2013 em substituição a TAB (os resultados desta localidades serão chamados de TAB_TEF), entre as altitudes de 300 a 4400 metros relativas ao nível do mar. Os resultados que serão apresentados nesse estudo referem-se até dezembro de 2017, totalizando uma série temporal de 18 anos em SAN e 8 anos em ALF, RBA, TAB_TEF.

Para a coleta foram utilizadas aeronaves de pequeno porte onde foram instalados um tubo coletor de aço inoxidável, denominado “inlet” pelo qual o ar atmosférico externo ao avião é coletado. Também foram instalados um sensor de temperatura, umidade relativa (T, H), pressão e GPS (*Global Positioning System*) para registrar o posicionamento e as condições

atmosféricas de cada coleta. As amostragens são realizadas entre 12:00 e 13:00 horas, horário local, período de estabilidade maior dentro da troposfera, e, portanto, com maior repetibilidade de condição atmosférica, onde a altura da camada limite está próxima de sua altura máxima.

Figura 1. Imagem do Brasil destacando os locais de estudo com perfis verticais de avião na Amazônia Brasileira.



Fonte: imagem de satélite Google Earth produzida pelos autores.

As amostras de perfis verticais de avião foram coletadas utilizando um sistema portátil semiautomático de coleta, que consiste em duas unidades, a primeira unidade, denominada Unidade Compressora Programável (*Programmable Compressor Package – PCP*), contém dois compressores e baterias recarregáveis e permanece no local amostrado. A segunda unidade foi denominada Unidade de Frascos de Precisão (*Precision Flask Package – PFP*), a versão utilizada em SAN contém 17 frascos de vidro e a utilizada nas demais localidades possuem 12 frascos. Ambas versões possuem um funcionamento durante a amostragem semelhante e possuem válvulas para abertura e fechamento dos frascos e um microprocessador que controla a amostragem e armazena informações sobre a mesma.

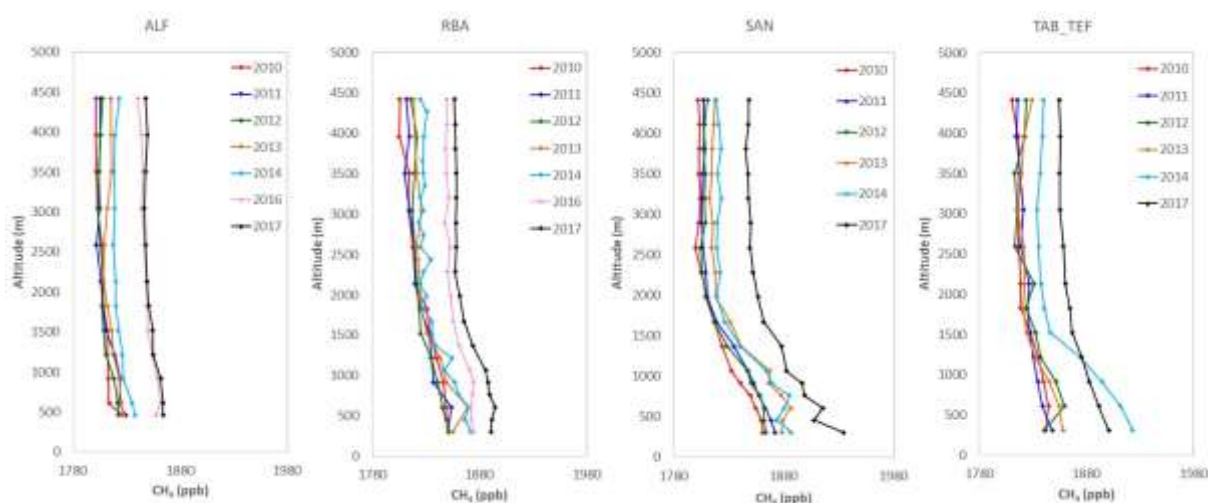
A trajetória do avião é realizada em formato helicoidal descendente com diâmetro em torno de 5 km, em uma localidade (latitude e longitude) definida para cada local de estudo. Para não haver influência do gás emitido pelo motor do avião na coleta, a coleta é realizada com a aeronave voando contra o vento e iniciando em 4420 m e finalizando em 427 m em ALF, 308 m em RBA, SAN e TAB. Maior detalhamento a respeito dos locais de coleta, amostragem e quantificação do CH₄ podem ser obtidas em Basso *et al.* (2016) e Basso (2014).

3.Resultados e Discussão

Entre janeiro de 2010 e dezembro de 2017 foram realizados 515 perfis verticais de avião nos quatro locais de estudo e entre 2000 a 2009 foram realizados 106 perfis verticais em SAN,

resultando num total de 621 perfis verticais analisados neste estudo. A análise da concentração dos perfis verticais nos permite avaliar se na região de estudo há uma indicação de fonte ou de absorção de CH₄. A concentração observada nos perfis corresponde à resultante da concentração de entrada no continente acrescida da contribuição da Floresta Amazônica. Sendo que, de maneira geral, observa-se que o topo do perfil representa a concentração de entrada no continente e o aumento observado próximo da superfície a emissão oriunda da Bacia Amazônica. A Figura 2 apresenta a concentração do perfil vertical médio anual realizados em cada local, entre 2010 e 2017. Observa-se que para os quatro locais de estudo as concentrações obtidas nas altitudes mais próximas à superfície são maiores quando comparadas as concentrações das altitudes mais altas, que apresentaram um padrão mais homogêneo, indicando que os quatro locais de estudo atuaram como fonte de CH₄ durante todo este período. Pode-se ainda observar uma variação nas emissões em cada local e também que há uma variação na emissão a cada ano, indicando uma variabilidade anual nas emissões nestas regiões. É possível observar ainda uma variação anual nas concentrações do topo do perfil que indicam o crescimento anual da concentração global de CH₄, pois estas maiores altitudes do perfil recebem menos influência das emissões locais.

Figura 2. Concentração média anual de CH₄ (ppb) nos perfis verticais para cada local de estudo entre 2010-2017.

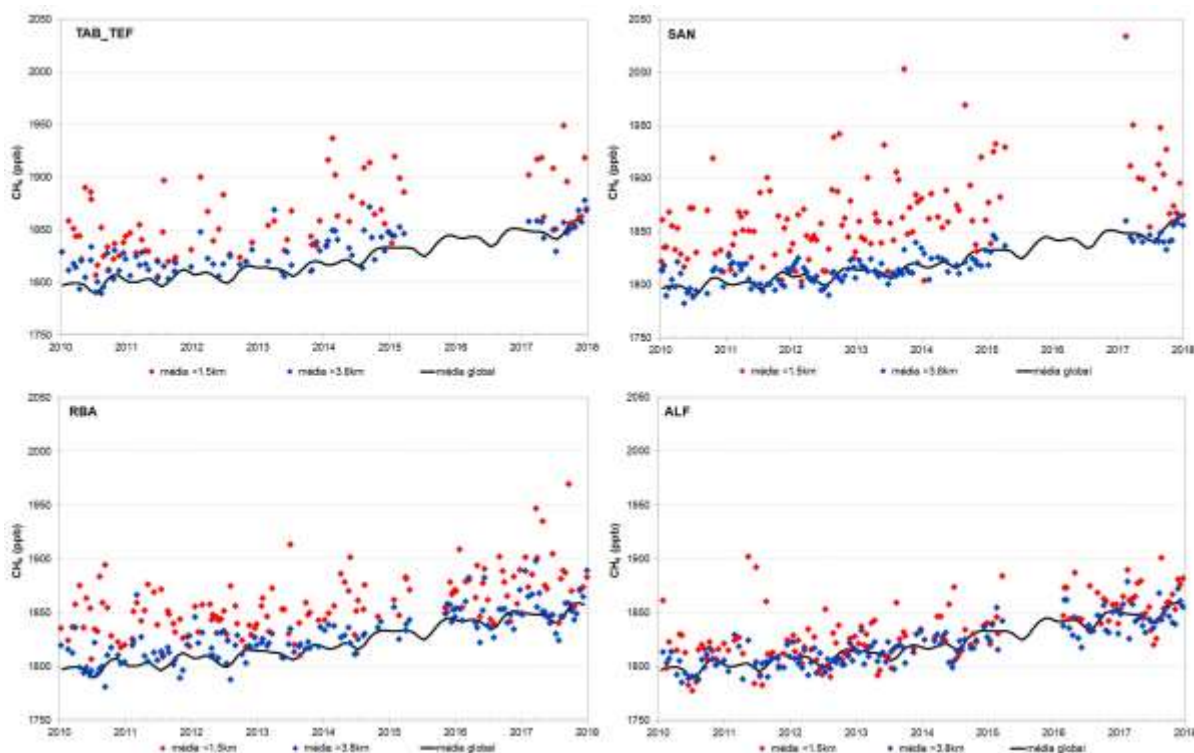


Fonte: Autores.

Para melhorar o entendimento das concentrações de CH₄ nestas regiões e as possíveis contribuições locais nas emissões destas áreas, foram calculadas as concentrações médias mensais acima de 3,8 km e abaixo de 1,5 km, dos perfis verticais realizados, apresentadas na Figura 3 juntamente com a série temporal da concentração global de CH₄ utilizando os dados da NOAA. Observa-se que as concentrações médias abaixo de 1,5 km são mais elevadas em comparação as concentrações médias acima de 3,8km, indicando uma maior emissão da Amazônia, durante todo o ano. Observa-se ainda, uma variação na diferença entre estas

concentrações ao longo dos meses e ao longo dos anos, onde também é possível observar uma variabilidade na emissão de CH₄, sendo que a região de SAN apresentou a maior diferença entre estas concentrações (Tabela 1), seguido de RBA e TAB, enquanto que, ALF mostrou a menor diferença entre estas concentrações e a menor variação ano a ano.

Figura 3. Concentrações médias mensais dos perfis verticais abaixo de 1,5 km e acima de 3,8 km, entre 2010 e 2017 para cada região de estudo, e a concentração global calculada pela NOAA.



Fonte: Autores.

Tabela 1. Diferença média, para cada ano, entre as concentrações médias acima de 3,8 km e abaixo de 1,5 km, para cada um dos locais de estudo.

Locais	Abaixo de 1,5 km – acima de 3,8 km (ppb)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ALF	12,5	19,1	10,9	8,1	10,3	-	13,7	12,4
TAB	29,4	18,6	27,3	20,7	43,1	-	-	36,4
RBA	35,9	31,8	21,6	28,9	30,1	-	21,6	29,2
SAN	46,6	46,2	44,5	54,1	51,9	-	-	59,3

Estes resultados indicam que a região de SAN possui fontes de CH₄ diferentes ou com maior magnitude que as demais regiões, pois as concentrações acima de 3,8 km para esta região são similares as dos demais locais, e apenas as concentrações mais próximas a superfície dos perfis verticais (abaixo de 1,5 km, Figura 3) são superiores aos demais locais. Este resultado é semelhante ao comportamento dos perfis verticais realizados conforme observado na Figura 2, demonstrando que a Amazônia apresenta diferenças na emissão de CH₄ para diferentes regiões.

Estudos recentes apontam que o aumento de emissões tropicais de CH₄, deve-se a um aumento da precipitação em áreas alagadas. Durante 2007 e 2008 observou-se aumento da concentração global de CH₄ após uma década de concentração estável sem registro de crescimento. Uma explicação provável para este aumento foi um episódio extremo de La Niña nestes 2 anos. Porém, as razões para este incremento ainda não são completamente compreendidas e há uma incerteza com relação à continuidade deste aumento neste ritmo (DLUGOKENCKY et al., 2009; WMO, 2014; NISBET et al., 2014). Outros fatores também influenciam este aumento como o derretimento de geleiras, que expõe um solo de conteúdo com muita matéria orgânica e assim tem-se um acréscimo nas fontes de emissão. Analisando a longa série temporal da concentração de CH₄ em SAN (18 anos de medidas, 2010-2017) pode-se observar uma taxa de crescimento anual de 5,5 ppb ano⁻¹ para as concentrações médias abaixo de 1,5 km e de 4,9 ppb ano⁻¹ para as concentrações médias acima de 3,8 km. As concentrações médias acima de 3,8 km apresentam uma taxa de crescimento muito próxima ao crescimento da concentração global neste período, de 4,6 ppb ano⁻¹. Porém pode-se observar também que, tanto a concentração média acima de 3,8 km como a concentração média inferior a 1,5 km apresentam uma tendência de aumento maior a partir de 2007, assim como é observado na concentração global. Calculando a taxa de crescimento anual entre 2007 e 2017, verificamos que este período apresenta um crescimento anual de 7,0 ppb ano⁻¹ nas concentrações médias abaixo de 1,5 km, 5,7 ppb ano⁻¹ nas concentrações médias acima de 3,8 km e 6,8 ppb ano⁻¹ para a concentração global.

A Tabela 2 apresenta as taxas de crescimento anuais para os quatro locais de estudo na Amazônia entre os anos de 2011 a 2017, para as concentrações médias acima de 3,8 km e abaixo de 1,5 km. Como o ano de 2010 foi um ano de seca anômala na região da Amazônia e apresentou as maiores diferenças em concentração entre a parte inferior (>1,5 km) do perfil e a parte superior (3,8 km), diferentemente dos demais anos estudados, este não foi considerado para o cálculo da taxa de crescimento, pois poderia gerar uma interpretação errônea com menores taxas de crescimento nestas regiões, visto que não é observada uma tendência de diminuição quando analisamos as concentrações médias anuais acima de 3,8 km e abaixo de 1,5 km (Tabela 2). Verifica-se que entre 2011 e 2017 as taxas de crescimento nas quatro localidades da Amazônia são inferiores a concentração global, apenas a concentração média abaixo de 1,5 km em SAN apresentou uma taxa de crescimento superior a global, e também apresentou a maior diferença entre a taxa de crescimento abaixo de 1,5 km e acima de 3,8 km (2,0 ppb year⁻¹), indicando que esta região possui uma emissão significativa de CH₄, em magnitude diferente dos demais locais. Observa-se também que todos os locais de estudo apresentam uma taxa de crescimento (entre 2011 e 2017) superior a taxa de crescimento global e de SAN entre os anos de 2000 e 2017, indicando

que a concentração de CH₄ vem crescendo a uma taxa mais acentuada ao longo dos últimos anos nestas regiões, assim como o observado na concentração global.

Tabela 2. Diferença média, para cada ano, entre as concentrações médias acima de 3,8 km e abaixo de 1,5 km, para cada um dos locais de estudo

Período	Taxa de Crescimento Anual (ppb ano ⁻¹)			
	ALF	RBA	SAN	TAB_TEF
Média >3,8km	7,7	7,3	6,6	6,7
Média <1,5km	7,7	7,1	8,6	8,2
2011-2017			Global	
Média			8,3	

4. Conclusões:

As concentrações observadas nos perfis verticais nos quatro locais de estudo indicam que a Amazônia atua como uma fonte de CH₄, ao longo do período estudado, porém estas emissões apresentaram variações regionais e também anuais. As concentrações indicam que a região de SAN apresenta um maior enriquecimento na concentração de CH₄ na parte inferior do perfil, sugerindo uma magnitude de emissão diferente dos demais locais estudados. Os resultados obtidos ressaltam ainda a importância da realização de estudos em escala regional para esclarecer o comportamento de toda a Amazônia, bem como a importância de estudos de longa duração, pois como pode ser observado, há uma variação nas concentrações a cada ano, indicando uma possível variabilidade nas emissões. Todos os locais de estudo apresentam um crescimento semelhante ao crescimento global, e esta longa série histórica de SAN mostrou que as concentrações nesta região da Amazônia acompanham essa nova tendência de aumento nas concentrações de CH₄ a partir de 2007, corroborando com o observado na concentração global.

5. Agradecimentos:

Agradecemos à FAPESP (processo FAPESP 2016/02018-2, 2018/14006-4), ao CNPq (processo CNPq 480713/2013-8), à ERC (*European Research Council* no programa *Horizon 2020*), ERC (projeto GeoCarbon) pelo apoio financeiro na execução do projeto.

6. Referências:

BASSO, L.S. *Determinação da Emissão de Metano da Bacia Amazônica*. 2014. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

BASSO, L. S., GATTI, L. V., GLOOR, M., MILLER, J. B., DOMINGUES, L. G., CORREIA, C. S., & BORGES, V. F. Seasonality and interannual variability of CH₄ fluxes from the eastern Amazon Basin inferred from atmospheric mole fraction profiles. *Journal of geophysical research. Atmospheres : JGR*, 121(1), 168–184, 2016.

BERGAMASCHI, P.; FRANKENBERG, C.; MEIRINK, J.F.; KROL, M.; VILLANI, M.G.; HOUWELING, S.; DENTENER, F.; DLUGOKENCKY, E. J.; MILLER, J.B.; GATTI, L.V.; ENGEL, A.; LEVIN, I. Inverse modeling of global and regional CH₄ emissions using SCIAMACHY satellite retrievals, *Journal of Geophysical Research*, v. 114, (D22301), **2009**.

BLOOM, A., PALMER, P., FRASER, A., & REAY, D. Seasonal variability of tropical wetland CH₄ emissions: the role of the methanogen-available carbon pool. *Biogeosciences*, v. 9, p. 2821–2830, **2012**.

CARMO, J.; KELLER, M.; DIAS, J.; DE CAMARGO, P.; CRILL, P. A source of methane from upland forests in the Brazilian Amazon. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 4, **2006**.

DLUGOKENCKY, E.; BRUHWILER, L.; WHITE, J.; EMMONS, L.; NOVELLI, P.; MONTZKA, S.; MASARIE, K.A.; LANG, P.M.; CROTWELL, A.M.; MILLER, J.B.; GATTI, L.V. Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden. *Geophysical Research Letters*, v. 36, L18803, **2009**.

FRANKENBERG, C.; BERGAMASCHI, P.; BUTZ, A.; HOUWELING, S.; MEIRINK, J.; NOTHOLT, J.; PETERSEN, A.K.; SCHRIJVER, H.; WARNEKE, T.; ABEN, I. Tropical methane emissions: A revised view from SCIAMACHY onboard ENVISAT. *Geophysical Research Letters*, v. 35, L15811, **2008**.

KIRSCHKE, S.; BOUSQUET, P.; CIAIS, P.; SAUNOIS, M.; CANADELL, J.; DLUGOKENCKY, E.; BERGAMASCHI, P.; BERGMANN, D.; BLAKE, D.R.; BRUHWILER, L.; CAMERON-SMITH, P.; CASTALDI, S.; CHEVALLIER, F.; FENG, L.; FRASER, A.; FRASER, P.J.; HEIMANN, M.; HODSON, E.L.; HOUWELING, S.; JOSSE, B.; KRUMMEL, P.B.; LAMARQUE, J.F.; LANGENFELDS, R.L.; QUÉRÉ, C.L.; NAIK, V.; O'DOHERTY, S.; PALMER, P.I.; PISON, I.; PLUMMER, D.; POULTER, B.; PRINN, R.G.; RIGBY, M.; RINGEVAL, B.; SANTINI, M.; SCHMIDT, M.; SHINDELL, D.T.; SIMPSON, I.J.; SPAHNI, R.; STEELE, L.P.; STRODE, S.A.; SUDO, K.; SZOPA, S.; VAN DER WERF, G.R.; VOULGARAKIS, A.; WEELE, M.V.; WEISS, R.F.; WILLIAMS, J.E.; ZENG, G. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience*, v. 6, p. 813-823, **2013**.

MATTHEWS, E.; FUNG, I. Methane emission from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources. *Global Biogeochemical Cycles*, p. 61-86, **1987**.

MELACK, J.; HESS, L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B.; HAMILTON, S.; LIMA, I.; NOVO, M.L.M.E. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, **2004**.

MILLER, J.B.; GATTI, L.V.; D'AMELIO, M.T.S.C.; CROTWELL, A.; DLUGOCKENKY, E.; BAKWIN, P.; ARTAXO, P.; TANS, P. Airbone measurements indicate large methane emissions from the eastern Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research*, v. 34, L10809, **2007**.

NISBET, E.G.; DLUGOKENCKY, E.J.; BOUSQUET, P. Methane on the Rise—Again. *Science*, v. 343, **2014**.

WMO - World Meteorological Organization - Global Atmosphere Watch - World Data Centre for Greenhouse Gases. *WMO WDCGG Data Summary*, n. 38. Japan Meteorological Agency em cooperação com World Meteorological Organization, 2014.

WMO - World Meteorological Organization - Greenhouse Gas Bulletin - The state of Greenhouse gases in the atmosphere using global observation throught 2017. n. 14. Acesso em Março de 2019, disponível em <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5455>, 2018.