AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESTUDO DA EMISSÃO/ABSORÇÃO DE N₂O DA BACIA AMAZÔNICA

Caio Silvestre de Carvalho Correia

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para a obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear – Materiais**

**Orientadora:
Profa. Dra. Luciana Vanni Gatti**

**São Paulo
2013**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade De São Paulo

ESTUDO DA EMISSÃO/ABSORÇÃO DE N₂O DA BACIA AMAZÔNICA

Caio Silvestre de Carvalho Correia

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear – Materiais**

**Orientadora:
Profa. Dra. Luciana Vanni Gatti**

**Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN**

**São Paulo
2013**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, tanto a família em que nasci, quanto a família que adquiri durante minha vida, que é composta de meus amigos e pessoas que amo, a meus pais Rosely e Expedito e a meus avós Dorothéa e Waldemar. Sobretudo dedico este trabalho à família que construí e pretendo manter até o fim dos meus dias, à minha esposa Márcia e a meu filho Artur.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer às agências de fomento CNEN/CAPES pela bolsa de mestrado, à FAPESP, CNPq e NERC pelo suporte financeiro deste trabalho que é uma parte de um projeto muito maior.

Aos colegas de laboratório, pelas discussões e por toda a ajuda para a realização deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante a minha permanência no IPEN para a realização deste trabalho e aos amigos que já faziam parte de minha vida anteriormente, entre muitos Lucas, Thiago, Alexandre e Marcela. Que sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço a Nzazi por me trazer paz e força sempre que eu preciso.

Caio Silvestre de Carvalho Correia**RESUMO**

O óxido nitroso (N₂O) é o terceiro gás de efeito estufa natural mais importante no planeta Terra, suas emissões são provenientes, principalmente da atividade bacteriana em processos de nitrificação e desnitrificação. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de elucidar a contribuição da Bacia Amazônica nas emissões de N₂O nos anos de 2010 e 2011. A quantificação do N₂O foi realizada por meio da coleta do ar atmosférico utilizando aviões de pequeno porte que descreveram um perfil vertical da superfície até 4,4 km de altitude, em quatro locais, posicionados de tal forma na Bacia Amazônica, que possibilitasse um estudo que a representasse regionalmente. O fluxo de N₂O foi estimado utilizando-se o método de integração de coluna que consiste na determinação da concentração deste gás, subtraído das concentrações de entrada do continente, levando-se em consideração o tempo que as massas de ar levaram da costa brasileira até o local de coleta. Foi determinada a emissão de N₂O pela queima de biomassa, utilizando a razão CO:N₂O, determinada nos perfis amostrados durante a estação de queima de biomassa. A Amazônia apresentou um caráter emissor para N₂O, com uma emissão maior em 2010 de 3,84 TgN₂O ano⁻¹ e de 1,93 TgN₂O ano⁻¹ em 2011. Este comportamento provavelmente é resultante do efeito da temperatura mais elevada em 2010 do que 2011.

STUDY OF THE AMAZON BASIN N₂O EMISSION/ABSORPTION**Caio Silvestre de Carvalho Correia****ABSTRACT**

Nitrous oxide (N₂O) is the third most important natural greenhouse gas on planet Earth, its emissions are provided, mainly from bacterial activity during process of nitrification and denitrification. This study was developed with the goal to elucidate the Amazon Basin contribution on N₂O emissions during the years of 2010 and 2011. N₂O quantification was performed by collecting atmospheric air using small aircraft that described a vertical profile from surface until 4,4 km of altitude, in four sites, positioned over the Amazon Basin so we could study it whole. The flux was estimated through column integration method, which consists in determine N₂O subtracted from background concentrations and taking into account the time these air masses spent between the coast and the sampling sites. To determine N₂O biomass burning contribution, the CO:N₂O ratio was estimated at the dry season profiles. The Amazon presented an emission behavior for N₂O, 3,84 TgN₂O year⁻¹ in 2010 and 1,93 TgN₂O year⁻¹ in 2011. This behavior is resulted by higher temperatures effects in 2010 than 2011.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1 Amostragem.....	20
4.2 Análise.....	26
4.3 Cálculo do Fluxo de N ₂ O pelo Método de Integração de Coluna.....	31
4.3.1 Cálculo da Concentração de Entrada no Continente.....	32
4.3.2 Cálculo do Fluxo.....	33
4.3.3 Cálculo das Trajetórias Retrocedentes das Massas de Ar.....	34
4.3.4 Cálculo da precipitação na região estudada.....	36
4.3.5 Cálculo dos focos de queimada na região estudada.....	36
4.4 Caracterização das regiões estudadas.....	36
4.5 Uso da Concentração de CO como Traçador de Queima de Biomassa.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Trajetórias.....	39
5.2 Concentrações determinadas nos frascos de amostragem.....	42
5.3 Cálculo da Razão CO:N ₂ O.....	47
5.4 Cálculo do Fluxo pelo método de integração de coluna.....	55
5.5 Estudo da perda de fluxo pela limitação de altitude do perfil vertical.....	69
6 CONCLUSÕES.....	74
7 SUGESTÃO DE ESTUDOS FUTUROS.....	75
8 REFERÊNCIAS.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Emissões de N_2O provenientes de solos de florestas maduras na Região da Amazônia Brasileira	18
Tabela 2: Altitudes de coleta de cada frasco nos 4 locais de amostragem.....	24
Tabela 3: Razões $CO:N_2O$ obtidas por perfil no ano de 2010 para os quatro locais de estudo juntamente com as médias e o desvio padrão das razões. ...	50
Tabela 4: Fluxo Médio Anual em $mgN_2O \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ para os 4 locais de estudo para os anos de 2010 e 2011	55
Tabela 5: Fluxo Médio Anual total, biogênico e proveniente da queima de biomassa, em $mgN_2O \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ para os 4 locais de estudo para os anos de 2010 e 2011	57
Tabela 6: Comparação entre os fluxos de N_2O em escalas global, regional e local para na Bacia Amazônica Brasileira.	66
Tabela 7: Emissões totais, biogênicas e de queima de biomassa, dados de precipitação e de focos de queimada e emissões totais da Bacia Amazônica para os anos de 2010 e 2011	67
Tabela 8: Média dos frascos coletados acima de 3 km de altitude subtraídos das Concentrações de Entrada no Continente para os quatro locais de amostragem	70
Tabela 9: Comparação entre os fluxos médios anuais para os anos de 2010 e 2011 até 4,4km de altitude e até 10 km de altitude	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de processos de nitrificação e desnitrificação promovido por bactérias.....	2
Figura 2: Balanço radiativo sem a presença de gases de efeito estufa (esquerda) e com eles (direita) (Fonte: Adaptado de Ahrens, 2000).....	6
Figura 3: Estimativa da população mundial entre os anos de 1500 até 2011 (Fonte: UNFPA, 2012).....	7
Figura 4: Média anual global do balanço de energia da Terra (2000-2010). Os fluxos solar (amarelo) e infravermelho (rosa) são medidos em $W\ m^{-2}$. As caixas (lilás) representam as principais componentes do balanço de energia (adaptado de Stephens <i>et al.</i> , 2012)	8
Figura 5: Variações de deutério (δD) no gelo antártico, que é um indicador para a temperatura local, e as concentrações atmosféricas dos GEE, tais como: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) no ar preso dentro de núcleos de gelo e das recentes medições atmosféricas. Os dados abrangem 650.000 anos e as bandas sombreadas indicam os períodos interglaciais quentes anteriores e atuais (Fonte: IPCC, 2007).	9
Figura 6: Estimativas da média global da forçante radiativa (FR) e faixas em 2011 para o CO_2 , o CH_4 , o N_2O antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica avaliado. A forçante radiativa antrópica líquida e sua faixa também são mostradas (Fonte: adaptado IPCC, 2013).	10
Figura 7: Concentrações atmosféricas dos gases CO_2 , CH_4 e N_2O , ao longo dos últimos 2.000 anos (Fonte: IPCC, 2007).....	11
Figura 8: Concentrações atmosféricas de N_2O nos últimos 300 anos (A) e no detalhe as concentrações dos últimos 25 anos (B). Informações obtidas de estudos com testemunhos de gelo da Antártica e Groenlândia.	12
Figura 9: Evolução das concentrações atmosféricas mundiais de N_2O nos últimos 30 anos (Fonte: WMO, 2010).....	13
Figura 10: Evolução das concentrações atmosféricas brasileiras de N_2O de 1995 a 2005 dividida entre os principais setores (Fonte: MCT, 2010).	13
Figura 11: Emissões globais de N_2O divididas por contribuição de diversos processos. (Adaptado de EDGAR, 2009).....	14
Figura 12: Contribuições antrópicas mundiais de emissões de N_2O dividida por país.	15
Figura 13: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O para o ano de 2005 (MCT, 2010).	16
Figura 14: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O no setor de agropecuária para o ano de 2005 (MCT, 2010).	16
Figura 15: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O para o ano de 2010 (MCT, 2013)	17
Figura 16: Imagem de satélite utilizando o software “Google Earth” onde estão demonstradas as localizações dos pontos de amostragem, marcados pelo	

ícone dos aviões e também as ilhas de Ascension e Barbados, marcadas com o ícone cor de rosa.....	20
Figura 17: Avião utilizado para a amostragem em Rio Branco e Tabatinga, modelo Seneca II, e em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, o tubo coletor e a acomodação do sistema de coleta.	21
Figura 18: Avião, modelo Sertanejo, utilizado para a realização das amostragens em Santarém e, em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, o tubo coletor e a acomodação do sistema de coleta.	22
Figura 19: Avião Cessna 210, utilizado na amostragem em Alta Floresta, e, em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, a localização do tubo coletor e a acomodação do sistema de amostragem.....	22
Figura 20: Sistema de amostragem de ar versão II utilizado em SAN onde: 1) PFP com 17 frascos de vidro; 2) PCP; 3) Painel do piloto; 4) Minicomputador para registro de dados no local; 5) GPS.	25
Figura 21: Sistema de amostragem de ar versão III, utilizado em RBA, TAB e ALF, onde: 6) PFP com 12 frascos de vidro; 7) PCP; 8) Painel do piloto; 9) Minicomputador para registro de dados no local; 10) GPS (2 modelos utilizados).	26
Figura 22: SAGEE no LQA/IPEN. Onde: 1) Monitor LI-COR (CO ₂); 2) Monitor de CO/H ₂ Peak Laboratories (CO/H ₂); 3) Cromatógrafo gasoso HP (N ₂ O/SF ₆ /CH ₄); 4) Controlador de fluxo dos gases; 5) Válvula “Sample select e System select”; 6) sample/CO reference; 7) Medidor de vácuo e Receptor de amostras; 8) Interface do cromatógrafo; 9) Banho resfriador; 10) Tela operacional; 11) Central única de processamento (CPU); 12) Interface do monitor de CO ₂ ; 13) Interfaces das válvulas e do monitor CO/H ₂	27
Figura 23: Esquema de funcionamento da válvula de injeção ligada ao cromatógrafo HP 6890 Plus+ (a) posição de espera e (b) posição de injeção da amostra no equipamento.....	28
Figura 24: Esquema de funcionamento de um detector de captura de elétrons (ECD).	28
Figura 25: Sinais obtidos da análise das 20 alíquotas do tanque de calibração para N ₂ O.	30
Figura 26: Médias dos resultados dos tanques de calibração até o período estudado, os pontos cor de rosa são os resultados, a linha vermelha a média e o tracejado vermelho o desvio padrão. A linha preta representa a média obtida pela NOAA.	30
Figura 27: Estudo da emissão de SF ₆ no mundo (Oliver <i>et al.</i> , 1999). Os pontos em branco apontam os locais com emissão do gás. O círculo em vermelho destaca a inexistência de contribuição de SF ₆ nos locais de influencia na amostragem.	32
Figura 28: Representação do modelo simplificado utilizado para o cálculo de fluxo pelo Método de Integração de Coluna, o qual integra a massa de ar desde o solo (face inferior do cubo em vermelho) até a 4,5 Km de altitude (face superior do cubo em azul).	34

Figura 29: Trajetórias das massas de ar retrocedentes geradas pelo modelo HYSPLIT onde os triângulos grandes simbolizam dias e os menores, frações de hora.	35
Figura 30: Exemplo de perfil utilizado no calculo da razão CO:N ₂ O, com as concentrações utilizadas até a altitude limite de 1500 m.	37
Figura 31: Trajetórias retrocedentes de massas de ar para cada local de amostragem para todos os perfis do ano de 2010.	39
Figura 32: Trajetórias retrocedentes de massas de ar para cada local de amostragem para todos os perfis do ano de 2011.	40
Figura 33: Área de influência definida com base nas trajetórias retrocedentes calculadas pelo modelo Hysplit.	41
Figura 34: Calculada com modelo FLEXPART, a área de influência é determinada por escala de cores pela sensibilidade do CO ₂ (0,001 a 0,200 ppm $\mu\text{mol}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a partir do amarelo claro até o vermelho. Onde “A” representa a área de Tabatinga; “B” representa a área de Santarém; “C” representa a área de Rio Branco; “D” representa a área de Alta Floresta. (Domingues, 2012).	42
Figura 35: Média das concentrações encontradas nos pontos de amostragem e os dados de CEC encontrados nas ilhas de ASC e RPB.	43
Figura 36: Concentrações de N ₂ O acima de 3km e abaixo de 1,2km de altitude. As linhas pretas e azuis indicam as concentrações de entrada no continente.	44
Figura 37: Concentrações de CO acima de 3km e abaixo de 1,2km de altitude. As linhas pretas e azuis indicam as concentrações de entrada no continente, os pontos em vermelho indicam os fracos coletados abaixo da CEC (abaixo de 1200) e os em azul acima de 3000m.	46
Figura 38: Arco do desflorestamento da Amazônia Legal (Fonte: IBAMA, 2008).	47
Figura 39: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N ₂ O, na região de ALF.	48
Figura 40: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N ₂ O, na região de RBA.	48
Figura 41: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N ₂ O, na região de SAN.	49
Figura 42: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N ₂ O, na região de TAB.	49
Figura 43: Precipitação média mensal para o ano de 2010, obtida por meio de dados do satélite TRMM.	52
Figura 44: Precipitação média mensal para o ano de 2011, obtida por meio de dados do satélite TRMM.	53
Figura 45: Focos de queimada para os anos de 2010 e 2011 para a área dos quatro locais de amostragem.	54
Figura 46: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de ALF no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os	

fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.	59
Figura 47: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de RBA no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.	60
Figura 48: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de SAN no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.	61
Figura 49: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de TAB no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.	62
Figura 50: Anomalia de precipitação (a e b) e de temperatura (c e d) para os anos de 2010 e 2011 (Adaptado de Gatti, <i>et al.</i> 2013),	64
Figura 51: Déficit de Água no solo – Médias e desvio padrão para toda a Bacia, baseado em dados TRMM27.	65
Figura 52: Concentrações obtidas nos frascos coletados acima de 3000m subtraídos do valor de CEC.	71

1 INTRODUÇÃO

Nos anos de 1950, iniciaram-se as medidas, com confiabilidade, de dióxido de carbono (CO_2) diretamente na atmosfera, o que tornou-se um marco para os estudos relacionados às mudanças climáticas. Foi somente neste período, em que se iniciaram as discussões sobre as ações antrópicas interferirem diretamente no aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Apenas na década de 1970 foi possível detectar na atmosfera os gases metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) que também possuíam concentrações relevantes à época (IPCC, 2006).

Atualmente, o N_2O está entre os três GEE naturais mais importantes no planeta, isto se dá devido à sua concentração e à sua meia vida na atmosfera. Dentre estes gases, o mais influente para o efeito estufa, desconsiderando-se o vapor de água, é o CO_2 , seguido do CH_4 (IPCC, 2007). Estes gases têm a capacidade de absorver energia luminosa (infravermelho), emitida pela crosta terrestre, impedindo que esta radiação regresse ao espaço e a transformando em calor, mantendo assim a troposfera aquecida e, desta forma, fazendo com que a temperatura média global aumente. Essas moléculas absorvem energia quando a frequência de movimento, ou comprimento de onda, da luz é muito próxima da frequência de seu movimento interno. Os principais movimentos das moléculas são o estiramento de ligação e a deformação angular. Uma molécula ainda pode absorver energia devido ao aumento de sua energia rotacional.

Os principais processos que envolvem a emissão de N_2O são a nitrificação e a desnitrificação, que ocorrem principalmente nos solos e são promovidos por microrganismos, sobretudo quando há o uso de fertilizantes que possuem nitrogênio em sua composição, a agricultura global contribui com entre 60 e 80% do N_2O emitido da superfície para a atmosfera, na FIG. 1, é possível observar um esquema exemplificando estas reações (Lenzi e Favero, 2009; IPCC, 2007).

Figura 1: Esquema de processos de nitrificação e desnitrificação promovido por bactérias.

Outras fontes de N_2O são a queima de biomassa, o uso como anestésico, o tratamento de resíduos e diversos processos industriais. Cerca de 40% de suas emissões globais são de origem antrópica, dois terços das emissões do solo ocorrem nos trópicos e aproximadamente 20% é originado em ecossistemas de florestas tropicais, assim como a floresta Amazônica (IPCC, 2001; WMO, 2010).

O N_2O não possui um sumidouro relevante na superfície, sendo destruído apenas por reações fotoquímicas que ocorrem nas camadas superiores da atmosfera. Estas reações ocorrem em pequena escala o que torna a meia vida do N_2O longa. Exemplos destas reações podem ser observados na equação 1.1.

A Amazônia está sob forte pressão humana devido a fatores como o desmatamento, a conversão e o esgotamento da floresta, alterando a

composição atmosférica, contribuindo com as mudanças climáticas e o aquecimento global (Gatti *et al.*, 2010) já que o desenvolvimento econômico da região está diretamente correlacionado à destruição e/ou desflorestamento da mesma para criação de áreas agrícolas e de pastagens (DeFries *et al.*, 2010). A área total da Floresta Amazônica representa praticamente a metade do território do continente Sul Americano e é equivalente à aproximadamente 8 milhões de Km², dos quais cerca de 60% da área estão em território nacional é identificada como “Amazônia Legal” que abrange uma área de 5.08×10^6 Km² (Perz *et al.*, 2005).

Embora a Amazônia brasileira ainda possua aproximadamente 82% de suas florestas intactas (PRODES, 2010; Regalado, 2010) e a taxa de desmatamento esteja regredindo com o passar dos anos (a taxa de desmatamento foi reduzida significativamente em 73% de 27.772 km² em 2004 para 7.464 km² em 2009) (MCT, 2010), as capacidades e características naturais da floresta, em termos de absorção/emissão de GEE podem ter sido alteradas (Gloor *et al.*, 2012).

Ainda observa-se alterações nos limites do bioma da floresta e dentro do próprio bioma, causados pela substituição de floresta por culturas agrícolas e pecuárias, atividades que são responsáveis por mudanças na composição de gases atmosféricos associados às mudanças climáticas (Marimon *et al.*, 2006).

Ao final do ano 2000 iniciaram-se medidas de GEE com o uso de aviões de pequeno porte próximas à cidade de Santarém, no estado do Pará, de modo a obter resultados em escala regional dentro do projeto intitulado Experimento de Grande-Escala entre a Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA).

Os estudos existentes até então na região eram com coletas realizadas em diversas torres e de longa duração e/ou campanhas curtas envolvendo perfis verticais em apenas uma determinada região. De fato, a série histórica proveniente do estudo realizado pelas torres é relevante, mas a representatividade regional de cada torre é muito pequena.

Este projeto é uma parte do resultado deste esforço em se ter medidas regulares e de longa duração utilizando-se de perfis verticais de avião, os quais possuem uma representatividade muito maior do que as torres ($\sim 10^5$ - 10^6 km²), incluindo no fluxo todos os tipos de processo de emissão ou absorção que possam ocorrer na região.

2 OBJETIVOS

Definir a contribuição da Bacia Amazônica como um todo na emissão/absorção do GEE óxido nítrico, utilizando perfis verticais com aviões de pequeno porte para realizar coletas e o método de integração de coluna para calcular os fluxos obtidos, estimar a emissão de N_2O proveniente da queima de biomassa e quais outros processos podem vir a interferir no fluxo deste gás.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante milhões de anos a Terra passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. Processos naturais, além de processos de intensa atividade geológica, lançaram à superfície gases com capacidade de absorver energia na faixa de calor (infravermelho) criando um efeito estufa natural, responsável por manter o Planeta aquecido. Sendo assim, sua temperatura média ao invés de ser -18°C , como produto deste processo é de 15°C , temperatura que predominaria no caso da concentração natural destes gases não serem alteradas, como pode ser observado na FIG. 2.

Figura 2: Balanço radiativo sem a presença de gases de efeito estufa (esquerda) e com eles (direita) (Fonte: Adaptado de Ahrens, 2000).

O termo efeito estufa deve-se à existência de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono, o vapor d'água (H_2O), o metano, o óxido nitroso, o ozônio (O_3), que têm a propriedade de absorver energia na forma de calor, que é emitida pela crosta terrestre e o redirecionam de volta à atmosfera, impedindo que a radiação da superfície regresse ao espaço, mantendo assim a troposfera aquecida, fazendo com que a temperatura média global aumente. Essas moléculas absorvem energia quando a frequência de movimento de onda da luz é muito próxima da frequência de seu movimento interno. Os principais movimentos de vibração na faixa de comprimento de onda emitido pela Terra são o estiramento de ligação e a deformação angular. Uma molécula ainda pode absorver energia devido ao aumento de sua energia rotacional (Basso, 2011).

A influência do homem sobre o equilíbrio ecológico data da sua aparição na Terra e vêm aumentando de forma exponencial a partir da revolução industrial. Por intermédio dessa dinâmica desenfreada do homem, ou seja, com o crescimento populacional ocorrendo de forma exponencial, principalmente no último século, como pode-se visualizar na FIG. 3, foi gerado como consequência um aumento da atividade industrial, agrícola, pecuária, de transporte e uso de energia, principalmente o uso de combustíveis fósseis. Assim criando-se um círculo vicioso, pois, com o aumento populacional, houve um aumento da demanda energética e, um consequente aumento das emissões dos GEE (Goldenberg, 1998), gerando um grande enriquecimento nas concentrações dos mesmos na atmosfera. A intervenção humana no ciclo global de carbono ocorre há milhares de anos, entretanto somente nos dois últimos séculos o fluxo antrópico passou a ser comparável ao ciclo do carbono natural (Malhi *et al.*, 2002).

Figura 3: Estimativa da população mundial entre os anos de 1500 até 2011 (Fonte: UNFPA, 2012).

Devido às emissões de GEE, provenientes das atividades humanas e de outros fatores naturais, serem capazes de gerar mudanças climáticas, foi estipulado um valor, conhecido como forçante radiativa, que é um meio de medir o quanto o balanço energético da atmosfera da Terra é influenciado quando os fatores que geram mudanças climáticas são alterados (IPCC, 2007).

A média anual global do balanço de energia da Terra entre o período de 2000 a 2010 é representado na FIG. 4.

Figura 4: Média anual global do balanço de energia da Terra (2000-2010). Os fluxos solar (amarelo) e infravermelho (rosa) são medidos em W m^{-2} . As caixas (lilás) representam as principais componentes do balanço de energia (adaptado de Stephens *et al.*, 2012)

A evaporação da superfície ($88 \pm 10 \text{ W m}^{-2}$) é o principal processo que consome a energia radiante ($165 \pm 6 \text{ W m}^{-2}$) seguido pela superfície ($398 - 345 = 53 \pm 9 \text{ W m}^{-2}$) e do calor sensível ($24 \pm 7 \text{ W m}^{-2}$). O calor transferido para a atmosfera por meio do calor latente e sensível equilibra a perda de energia radiante da atmosférica ($-112 \pm 15 \text{ W m}^{-2} = 74 + 398 - 239 - 345$). O efeito das nuvens sobre os fluxos no topo da atmosfera, chamado de efeito albedo das nuvens, aumenta o fluxo solar refletido ($47,5 \pm 3 \text{ W m}^{-2}$), enquanto as nuvens reduzem o fluxo de onda longa em relação ao céu claro em aproximadamente $26,4 \pm 4 \text{ W m}^{-2}$ (medida do seu efeito estufa), evitando a entrada de radiação na superfície terrestre por meio do albedo das nuvens de $21,1 \pm 5 \text{ W m}^{-2}$ (Stephens *et al.*, 2012).

Dados de testemunhos de gelo, tanto Ártico como Antártico, forneceram registros das concentrações dos gases da atmosfera durante os últimos 650.000 anos (FIG. 5). Em função da circulação de ar, suas precipitações de neve registram tanto os anos mais frios, quanto os mais quentes, assim como as concentrações de gás carbônico, oxigênio e outros gases das diferentes eras geológicas. Baseados nessas evidências, os cientistas chegaram à conclusão de que o aumento da concentração dos GEE na atmosfera é o responsável pelo atual aquecimento do planeta (IPCC, 2007).

Figura 5: Variações de deutério (δD) no gelo antártico, que é um indicador para a temperatura local, e as concentrações atmosféricas dos GEE, tais como: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) no ar preso dentro de núcleos de gelo e das recentes medições atmosféricas. Os dados abrangem 650.000 anos e as bandas sombreadas indicam os períodos interglaciais quentes anteriores e atuais (Fonte: IPCC, 2007).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, as mudanças climáticas podem provocar até 150 mil mortes todos os anos e ao menos cinco milhões de casos de doenças. Além dos problemas de saúde, as temperaturas elevadas serão responsáveis pela redução de geleiras, aumento de eventos extremos como grandes inundações e secas em diferentes regiões, ondas de calor e frio, entre outros (Marengo, 2007).

Malhi e Wright (2004) demonstraram que, desde meados da década de 1970, vem ocorrendo um aquecimento nas florestas tropicais de, aproximadamente, $0,26^\circ C$ por década. Ainda, Cramer *et al.* (2004) sugerem, por meio de modelos climáticos, um aquecimento na região tropical entre $3^\circ C$ e $8^\circ C$ para o final deste século XXI. Tal fato, observado por esses cientistas, se deve ao aumento do desmatamento de áreas de florestas tropicais para a substituição de áreas de mata natural por pastagens e cultivo de grãos, além da venda da madeira nobre para a indústria de móveis e para a geração de energia na forma de carvão vegetal.

Na FIG. 6 é possível observar as forçantes radiativas dos GEE, a figura ainda mostra o N₂O como o terceiro GEE natural mais influente na forçante radiativa total. A figura retrata a influência antrópica na emissão dos GEE.

Figura 6: Estimativas da média global da forçante radiativa (FR) e faixas em 2011 para o CO₂, o CH₄, o N₂O antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica avaliado. A forçante radiativa antrópica líquida e sua faixa também são mostradas (Fonte: adaptado IPCC, 2013).

Os últimos 300 anos foram bastante relevantes nas emissões de N₂O, fato que está ilustrado nas FIG. 7, onde se pode observar as emissões dos três gases de efeito estufa natural mais importantes, com exceção do vapor de água.

Figura 7: Concentrações atmosféricas dos gases CO₂, CH₄ e N₂O, ao longo dos últimos 2.000 anos (Fonte: IPCC, 2007).

Na FIG. 8, pode-se observar o aumento da concentração de N₂O com maior detalhamento nas últimas décadas e fica evidente o aumento acentuado nas concentrações em função do tempo. É possível notar também que as concentrações de N₂O aumentaram de cerca de 270 ppb para 321,8 ppb em 2008. Nos últimos 10 anos o N₂O têm apresentado um crescimento médio anual de 0,78 ppb mundialmente e concentrações 19% acima da concentração pré-industrial. Como explicado anteriormente o N₂O é um gás que possui fontes tanto naturais como antrópicas (WMO, 2010).

Figura 8: Concentrações atmosféricas de N_2O nos últimos 300 anos (A) e no detalhe as concentrações dos últimos 25 anos (B). Informações obtidas de estudos com testemunhos de gelo da Antártica e Groenlândia.

Segundo o IPCC (2013), a emissão global por queima de biomassa para o N_2O está entre $0,2 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$ a $1,0 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$ (Mosier *et al.*, 1998; Kroeze *et al.*, 1999; Olivier *et al.*, 1998). No caso da Amazônia, além da emissão do solo e da N fertilização, as queimadas também contribuem para a emissão de N_2O (IPCC, 2007; D'Amelio, 2010).

Na FIG. 9, observa-se que o aumento da concentração de N_2O na atmosfera é constante e que isto ocorre de maneira semelhante nos hemisférios norte e sul. É possível também observar na FIG. 10, um comportamento semelhante para as concentrações brasileiras (MCT, 2010).

Figura 9: Evolução das concentrações atmosféricas mundiais de N_2O nos últimos 30 anos (Fonte: WMO, 2010).

Figura 10: Evolução das concentrações atmosféricas brasileiras de N_2O de 1995 a 2005 dividida entre os principais setores (Fonte: MCT, 2010).

A agricultura também exerce grande influência na emissão de N_2O , pois a fertilização é capaz de aumentar a emissão de N_2O proveniente do solo pelos dois processos, o de nitrificação e o de desnitrificação (Robertson et al., 2000). Isto pode ser observado na FIG. 11, que trata das principais fontes antrópicas globais de N_2O segundo a plataforma EDGAR (*Emission Database for Global Atmospheric Research*) para o ano de 2008.

Figura 11: Emissões globais de N₂O divididas por contribuição de diversos processos. (Adaptado de EDGAR, 2009)

Cerca de dois terços da emissão proveniente do solo ocorre nas áreas tropicais e aproximadamente 20% são originadas em ecossistemas de florestas tropicais úmidas como o caso da região estudada (Van Haren et al., 2005; Keller et al., 1993; Melillo et al., 2001). Outras fontes incluem oxidação gasosa da amônia (NH₃), fontes industriais como produção de ácido adípico e ácido nítrico (0,7 TgN₂O ano⁻¹) e queima de biomassa (0,7 TgN₂O ano⁻¹) (Thiemens e Trogger, 1991; IPCC, 2007).

A FIG. 10 ilustra que no Brasil, o mesmo também ocorre, as emissões antrópicas se concentram, principalmente, no setor de agropecuária.

A FIG. 12 mostra dados mundiais de emissões de N₂O divididos por país, nesta se observa que o Brasil tem uma importância significativa nas emissões deste gás.

Figura 12: Contribuições antrópicas mundiais de emissões de N_2O dividida por país.

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) em seu relatório denominado “Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima” e que foi divulgado em 2010, considerando-se os dados do ano 2005 (FIG. 13) e assim como foi possível observar anteriormente (FIG. 10), as principais fontes brasileiras de N_2O são provenientes de atividades de agropecuária (87%) enquanto dentre os demais setores avaliados nenhum ultrapassa os 4% de influência. No Brasil é apontado desde 2004 por este ministério que, as emissões de N_2O ocorrem, predominantemente, no setor da agropecuária (MCT, 2004). No relatório publicado em 2010 há informações de que as emissões brasileiras de N_2O cresceram 43% em 10 anos (1995 – 2005), porém este relatório considera apenas as emissões de origem antrópica e, no caso do N_2O , assim como nos demais GEE naturais, tem uma emissão natural importante (60% em escala global) proveniente de diversos processos que ocorrem independentemente da ação do homem.

Figura 13: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O para o ano de 2005 (MCT, 2010).

Ao detalhar o setor de agropecuária, para as emissões brasileiras de N_2O , torna-se possível observar na FIG. 14 a qual mostra que as maiores emissões dividem-se entre os dejetos de animais em pastagens (46%) e emissões indiretas nos solos (32%).

Figura 14: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O no setor de agropecuária para o ano de 2005 (MCT, 2010).

Este mesmo ministério publicou posteriormente, no ano de 2013, outro relatório intitulado “Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, desta vez com referência até o ano de 2010 no qual é possível notar

algumas diferenças, embora pequenas (FIG. 15). Esta figura apresenta resultados semelhantes e que mostram que as emissões brasileiras de N_2O são quase que exclusivamente provenientes do setor agropecuária. Nota-se que os demais setores não deixaram de contribuir com as emissões, mas, em alguns casos, o peso resultante das demais emissões antrópicas diminuiu em relação ao setor agropecuária.

Figura 15: Estimativa de emissões brasileiras de N_2O para o ano de 2010 (MCT, 2013)

Diversos trabalhos realizados na região amazônica indicam diversos valores de fluxo anuais de N_2O , isto pode ser observado abaixo na Tabela 1, a qual é uma adaptação do trabalho de Davidson et al.(2001).

Tabela 1: Emissões de N₂O provenientes de solos de florestas maduras na Região da Amazônia Brasileira

Locais	Emissões de N ₂ O	Referência
	(kg N·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹)	
	1.4	Coolman (1994)
Manaus, Amazonas	1.9	Luizão <i>et al.</i> (1989)
Paragominas, Pará	2.4	Verchot <i>et al.</i> (1999)
Tapajós, Pará	2.3 ^a	Nepstad <i>et al.</i> (2002)
Nova Vida, Rondônia	1.9	Melillo <i>et al.</i> (2002)

Fonte: Adaptado de Davidson *et al.*(2001).

^a Extrapolação anual baseada nas variações sazonais apresentadas por Nepstad *et al.* (2002). A extrapolação seguiu os mesmos procedimentos de Verchot *et al.*(1999), os quais as médias das estações chuvosa e seca foram calculadas usando-se as datas das amostragens em suas devidas estações e então cada média representou uma metade do ano

Apesar da importância, da pequena variabilidade entre os resultados e da relevância local destes resultados, não é possível utilizar apenas um destes resultados e realizar uma extrapolação de tal fluxo para a Bacia Amazônica como um todo, pois além de serem resultados de pequena representatividade regional, são resultados de um determinado tipo de solo, o que atualmente é muito raro encontrar na Bacia, uma vez que as atividades humanas constantemente alteram os diferentes ambientes da Bacia (Gatti *et al.*, 2010).

Os resultados de Nepstad *et al.* (2002), também chamam a atenção para o fato de as variações interanuais de clima e/ou regime de chuvas causados pelos fenômenos *La niña/El niño* afetarem os fluxos de N₂O mais em uma região do que em outras, como é o caso da Floresta Nacional do Tapajós no estado do Pará.

Devido a esta grande incerteza sobre o papel desempenhado pela Bacia Amazônica que hoje persiste, pois, apesar de muitos estudos terem sido

realizados na mesma, o conhecimento de seu papel no fluxo de N_2O permanece inexato e, é neste contexto que este estudo foi desenvolvido de maneira que represente a Bacia de forma espacial e temporal, elucidando assim o comportamento da Bacia Amazônica em relação ao fluxo de N_2O .

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem

Durante os anos de 2010 e 2011 foram realizados 154 perfis verticais, sendo 80 no primeiro e 74 no segundo, para obter-se uma grande abrangência da Bacia Amazônica quanto à contribuição de emissão/absorção de N₂O desta como um todo; quatro locais foram selecionados, onde se realizaram os perfis verticais. Estes locais são: Santarém (SAN – 2.86°S 54.9°W) no estado do Pará, Alta Floresta (ALF 8.80°S 56.7°W) no estado do Mato Grosso, Tabatinga (TAB - 5.96°S 70.1°W) no estado do Amazonas e Rio Branco (RBA - 9.38°S 67.6°W) no estado do Acre de forma a criar um grande quadrilátero na Bacia possibilitando o estudo das diferenças dentro do bioma em si e de influências humanas na região. A localização dos pontos de amostragem na Bacia Amazônica e das ilhas de Ascension (ASC - 7°56'S, 14°22'O) e Barbados (RPB – 13°10'N, 59°32'O) podem ser observados na FIG. 16.

Figura 16: Imagem de satélite utilizando o software “Google Earth” onde estão demonstradas as localizações dos pontos de amostragem, marcados pelo ícone dos aviões e também as ilhas de Ascension e Barbados, marcadas com o ícone cor de rosa.

Aviões de empresas presentes nos locais de amostragens foram contratados, para a realização das coletas. Na janela de mau tempo da aeronave foi instalado um tubo coletor de aço inoxidável, pelo qual o ar atmosférico externo ao avião é coletado e posicionado de modo que as emissões oriundas do motor da aeronave não interfiram na coleta, este tubo foi denominado inlet. Foram instalados sensores de temperatura, umidade relativa e GPS (Global Positioning System) para registrar o posicionamento e as condições atmosféricas de cada coleta. Nas FIGs. 17, 18 e 19 podem-se observar os aviões utilizados na realização das amostragens com o sistema de coleta de ar instalado, com o tubo coletor em detalhe para os diversos locais. É possível notar na FIG. 19 a diferença no posicionamento do tubo coletor que, diferentemente dos outros modelos que propiciaram a instalação do mesmo em sua janela de mau tempo, no Cessna 210, foi possível a instalação do tubo coletor apenas na asa, na entrada da ventilação.

Figura 17: Avião utilizado para a amostragem em Rio Branco e Tabatinga, modelo Seneca II, e em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, o tubo coletor e a acomodação do sistema de coleta.

Figura 18: Avião, modelo Sertanejo, utilizado para a realização das amostragens em Santarém e, em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, o tubo coletor e a acomodação do sistema de coleta.

Figura 19: Avião Cessna 210, utilizado na amostragem em Alta Floresta, e, em detalhe, indicado pelas setas vermelhas, a localização do tubo coletor e a acomodação do sistema de amostragem.

Para a coleta do ar, um sistema semi-automático de amostragem e outro de armazenamento foram desenvolvidos pelo GMD/ESRL/NOAA (Global Monitoring Division / Earth System Research Laboratory / National Oceanic & Atmospheric Administration) para as coletas em SAN e um sistema semelhante, baseado neste, produzido pela empresa HPD – High Precision Device®, para as coletas realizadas nos demais locais. O sistema de armazenamento foi denominado Unidade Portátil dos Frascos (Portable Flask Package – PFP); a versão utilizada em SAN contém 17 frascos de vidro, onde as medidas começaram em 2000, e a utilizada nos demais locais contém 12 frascos, onde as amostragens foram iniciadas em dezembro de 2009. Ambas as versões tem funcionamento semelhante no decorrer da amostragem e possuem válvulas para abertura e fechamento dos frascos de amostragem, posicionadas nas duas extremidades de cada frasco e um microprocessador que as controla e armazena informações das condições de cada coleta.

Antes do envio das unidades aos pontos de coleta, os frascos de vidro foram limpos e secos com ar comprimido com umidade relativa inferior a 2%, por no mínimo 30 minutos. As altitudes de coleta, de acordo com cada local, foram determinadas na programação da PFP e os frascos contidos nestas, foram preenchidos e pressurizados com 20 psi (138 KPa) pelo gás de preparação com CO₂ 350ppm em balanço de nitrogênio.

Na amostragem, a aeronave descreve um voo com trajetória pré-determinada, de forma que cada amostra seja coletada em torno de uma posição fixa geograficamente (latitude x longitude), para cada local de estudo (TAB, ALF, RBA e SAN), em formato helicoidal descendente com um raio de 5 km, levando-se em conta as altitudes de coleta pré-programadas. Um dispositivo denominado painel do piloto, indica a próxima altitude da coleta e mostra mensagens de erro, caso haja alguma. A coleta é realizada com a aeronave voando contra o vento e mantendo-se a altitude do início ao término de cada frasco. Esta estratégia de amostragem serve para evitar a contaminação das amostras pelo motor do avião. As altitudes de coleta são consideradas em relação ao nível do mar e o ponto mais alto foi 14500 pés (4420m) para todos os locais. As altitudes em que são realizadas as coletas dependem do

número de frascos e da altitude da superfície local. As altitudes para cada local de coleta estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 2: Altitudes de coleta de cada frasco nos 4 locais de amostragem.

	Santarém		Alta Floresta		Rio Branco e Tabatinga	
Frasco	Altitude (pés)	Altitude (metros)	Altitude (pés)	Altitude (metros)	Altitude (pés)	Altitude (metros)
1	14500	4420	14500	4420	14500	4420
2	13500	4115	13500	4115	13000	3392
3	12500	3810	11500	3505	11500	3505
4	11500	3505	10000	3048	10000	3048
5	10500	3200	8500	2591	8500	2591
6	9500	2896	7000	2134	7000	2134
7	8500	2591	6000	1829	6000	1829
8	7500	2286	5000	1524	5000	1524
9	6500	1981	4000	1219	4000	1219
10	5500	1676	3000	914	3000	914
11	4500	1372	2000	610	2000	610
12	3500	1067	1500	457	1000	305
13	3000	914	*	*	*	*
14	2500	762	*	*	*	*
15	2000	610	*	*	*	*
16	1500	457	*	*	*	*
17	1000	305	*	*	*	*

A unidade compressora (PCP – Portable Compressor Package) utiliza um sistema que contém dois compressores e baterias recarregáveis. Durante a amostragem de cada frasco, o ar é sugado da atmosfera exterior ao avião, através do inlet, e pressurizado a 40 psi (276 KPa) nos frascos de vidro da PFP. Durante cada coleta, ou seja, para cada frasco, são passados inicialmente 5 litros de ar pelo tubo de entrada e pela ligação entre os frascos de amostragem (manifold) para a lavagem e o condicionamento destes tubos com as condições de umidade e concentração dos gases. Na etapa seguinte as duas válvulas presentes no frasco foram abertas e foram passados 10 litros de ar para a lavagem e o condicionamento do vidro dos frascos. Então a válvula de saída do frasco é fechada e quando o sensor de pressão da PFP identifica 40 psi no sistema, a válvula da frente também é fechada, armazenando assim de 1,4 a 1,7 litros de amostra por frasco em cada altitude determinada. Nas FIG.s 18 e 19 podem ser observadas as unidades de bombas compressoras e de frascos e os acessórios utilizados para as coletas das duas versões empregadas nos quatro locais estudados.

Figura 20: Sistema de amostragem de ar versão II utilizado em SAN onde: 1) PFP com 17 frascos de vidro; 2) PCP; 3) Painel do piloto; 4) Minicomputador para registro de dados no local; 5) GPS.

Figura 21: Sistema de amostragem de ar versão III, utilizado em RBA, TAB e ALF, onde: 6) PFP com 12 frascos de vidro; 7) PCP; 8) Painel do piloto; 9) Minicomputador para registro de dados no local; 10) GPS (2 modelos utilizados).

4.2 Análise

Em 2003, foi construída uma réplica do Sistema de Análise de Gases de Efeito Estufa, para análise dos gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O), hidrogênio (H_2) e hexafluoreto de enxofre (SF_6) (FIG. 22), desenvolvido pelo ESRL/NOAA, pelo Dr. Ed Dlugokencky e executado por Andrew Crotwell e Dra. Luciana Vanni Gatti. Esta réplica foi instalada no IPEN em 2004, quando passou a realizar todas as análises de GEE, aqui denominado SAGEE.

Figura 22: SAGEE no LQA/IPEN. Onde: 1) Monitor LI-COR (CO_2); 2) Monitor de CO/H_2 Peak Laboratories (CO/H_2); 3) Cromatógrafo gasoso HP ($\text{N}_2\text{O}/\text{SF}_6/\text{CH}_4$); 4) Controlador de fluxo dos gases; 5) Válvula “Sample select e System select”; 6) sample/ CO reference; 7) Medidor de vácuo e Receptor de amostras; 8) Interface do cromatógrafo; 9) Banho resfriador; 10) Tela operacional; 11) Central única de processamento (CPU); 12) Interface do monitor de CO_2 ; 13) Interfaces das válvulas e do monitor CO/H_2 .

A quantificação dos gases N_2O e SF_6 foram realizadas utilizando um cromatógrafo gasoso da marca HewlettPackard® – modelo HP 6890 series Plus+, com detector de captura eletrônica (ECD). Foi injetado um volume fixo de amostra (15 ml), que passa por uma pré-coluna, com 183 cm de comprimento e 3/16” de diâmetro externo, empacotada com Haysep Q 100/120 mesh, e depois por uma coluna de mesmas dimensões, empacotada com o mesmo conteúdo. Este sistema está ligado a uma válvula de 10 vias com duas posições (injecte load). Quando a válvula está na posição load a amostra é levada ao loop por 3 minutos, para limpeza e condicionamento deste, e durante este tempo, apenas o gás carreador passa pela pré-coluna e pela coluna, Existe um sistema de separação entre a pré-coluna e pela coluna. Ao mudar de posição para inject a amostra é levada, pelo gás carreador, do loop à pré-coluna e posteriormente à coluna. Após isso a válvula volta a posição load para que ocorra a limpeza da pré-coluna com o gás carreador passando por esta no sentido inverso. Este sistema e seu funcionamento estão representados na

FIG. 23. O forno cromatográfico que contém a pré-coluna e a coluna, foi mantido na temperatura fixa de 70°C. O gás de arraste utilizado foi o P5, que consiste em gás Argônio com 5% de metano, com fluxo de 74 ml/min. Existem dois depuradores instalados entre a linha do gás carregador e o equipamento um contendo carvão ativado e outro contendo peneira molecular (13x), este procedimento serve para evitar que possíveis impurezas presentes influenciem na análise.

Figura 23: Esquema de funcionamento da válvula de injeção ligada ao cromatógrafo HP 6890 Plus+ (a) posição de espera e (b) posição de injeção da amostra no equipamento.

O ECD equipado no cromatógrafo utiliza uma fonte de ⁶³Ni, a qual ioniza as moléculas formando elétrons lentos os quais migram para o anodo e produzem uma corrente padrão. Esta amostra ionizada ao passar pelo detector, este indica uma redução da corrente, esta diferença é quantificada relacionando a redução à quantidade do composto analisado (FIG. 24).

Figura 24: Esquema de funcionamento de um detector de captura de elétrons (ECD).

O equipamento fez quantificação do material amostrado injetando uma alíquota do gás presente no cilindro de referência e outra do gás armazenado no frasco de coleta de maneira intercalada, o equipamento compara o valor conhecido (gás de referência) com o valor encontrado (gás do frasco) e fornece o resultado da quantidade de N_2O na amostra em ppb. Este processo ocorre em qualquer tipo de análise e pode ser visualizado na FIG. 25.

Para o aumento da precisão na medição, para a quantificação do N_2O , e por este gás não possuir uma relação linear com a área do pico no cromatograma, foi desenvolvida uma curva de calibração que é executada uma vez a cada 30 dias, como recomendado pelo laboratório CCG/CMDL/NOAA, na qual faz-se a análise do gás N_2O , presente em cinco cilindros calibrados pelo mesmo laboratório, o sistema retira alíquotas destes cilindros de maneira intercalada com o cilindro de referência e compara o sinal obtido. E a cada amostra, onde foi utilizado um cilindro de referência, para garantir alta precisão na quantificação deste gás.

Para garantir a estabilidade do sistema analítico, a cada 2 semanas um gás natural pressurizado e calibrado pela NOAA, com uma concentração de $318,69 \pm 0,09$ ppb de N_2O , chamado de tanque de calibração, é analisado em 20 alíquotas. Esta calibração é usada para testar a variabilidade do equipamento causada por fatores externos como as mudanças de temperatura e pressão, ao longo do dia. No entanto, como a resposta aos padrões de referência varia ao mesmo tempo que à amostra, estas variações são minimizadas utilizando a razão entre a resposta da amostra pela média do padrão referência anterior e posterior a esta (Figura 25).

A média destes 20 resultados foi realizada para verificar a acurácia do sistema e o desvio padrão destas, foi utilizado para verificar sua precisão. Este procedimento é adotado para todos os gases analisados pelo SAGEE, neste sistema o valor médio encontrado neste cilindro é de $318,90 \pm 0,32$ ppb de N_2O , ou seja, a precisão média, ao longo destes 9 anos, é de 0,03 ppb de N_2O , conforme pode-se observar na FIG. 26.

Figura 25: Sinais obtidos da análise das 20 alíquotas do tanque de calibração para N_2O .

Figura 26: Médias dos resultados dos tanques de calibração até o período estudado, os pontos de cor verde são os resultados, a linha de cor preta a média e o tracejado vermelho o desvio padrão.

As quantificações e controle do gás SF_6 foram realizados da mesma maneira que o gás N_2O , utilizando-se o ECD do cromatógrafo HP 6890 series

Plus+. A quantidade de amostra injetada e as colunas utilizadas foram as mesmas.

O instrumento que analisa o CO é o monitor da Peak-Laboratories CO/H₂[®]. Este sistema é capaz de detectar baixas concentrações em ppb. Existe um filtro com combustor catalítico que oxida o CO presente no gás de arraste (Ar sintético 5.0) para CO₂. O gás a ser amostrado é inserido no equipamento através do “loop” pelo mesmo procedimento descrito anteriormente. O gás de arraste (20 mLmin⁻¹) leva a amostra para um sistema de pré-coluna e coluna de 1/8” de diâmetro externo situadas dentro de um forno, a 100°C. Desta coluna, o gás passa por um leito aquecido (265°C) de óxido de mercúrio (HgO), e o gás CO contido na amostra reage com o óxido de mercúrio, liberando vapor de mercúrio metálico que é quantificado pela absorção de luz ultravioleta na banda de 254nm, que atravessa a câmara de leitura. Pela diferença entre a radiação emitida e a que chega ao fotômetro, após entrar em contato com a amostra, tem-se um sinal proporcional à concentração de CO contido na amostra.

Da mesma forma que ocorre para o N₂O, os resultados obtidos de CO não possuem uma relação linear com a área do cromatograma, e por esta razão, foi desenvolvida uma curva de calibração semelhante à do N₂O que é executada quinzenalmente, da mesma forma e é constituída por sete cilindros com concentrações diferentes.

A sala que contém os equipamentos foi mantida refrigerada à temperatura controlada, para minimizar interferência nas análises.

4.3 Cálculo do Fluxo de N₂O pelo Método de Integração de Coluna

O método de integração de coluna foi primeiramente descrito por Chou *et al.* (2002) e depois aprimorado por Miller *et al.* (2007), ao subtrair a concentração do ar de entrada no continente (CEC) da concentração determinada na amostragem do perfil vertical. O método de Integração de Coluna torna possível a integração de todo o percurso descrito pela massa de ar, desde a entrada no continente até o ponto de coleta, da superfície até o

topo do perfil (4,4km de altura), possibilitando, desta forma, a interpretação da influência de emissão/absorção sofrida pela mesma durante todo o trajeto. Esta técnica também foi utilizada em D'Amélio *et al.* (2009) e Gatti *et al.* (2010). Todos os procedimentos que envolvem o cálculo estão descritos nos itens a seguir:

4.3.1 Cálculo da Concentração de Entrada no Continente

Para o cálculo da CEC foi utilizado o gás SF_6 , como traçador de massas de ar. Pelo fato de não existir produção do mesmo ao longo do trecho entre a costa e a região de estudo (Oliver *et al.*, 1999) (FIG. 27), pode-se considerar que, a concentração encontrada no perfil vertical, é a mesma que a encontrada na costa, portanto a concentração é constante durante todo o trajeto das massas de ar dentro do continente.

Figura 27: Estudo da emissão de SF_6 no mundo (Oliver *et al.*, 1999). Os pontos em branco apontam os locais com emissão do gás. O círculo em vermelho destaca a inexistência de contribuição de SF_6 nos locais de influencia na amostragem.

CEC é estabelecida pela correlação entre as duas Estações de Monitoramento Global localizadas no Oceano Atlântico Sul (Ilha de Ascension) e Norte (Ilha de Barbados), mostradas na FIG. 16. Por meio destas é determinada a fração de composição do ar, contendo parcelas de influência do Hemisfério Norte e Sul, pelas equações Equação 4.1 e Equação 4.2.

$$ASC_{local} = 1 - RPB_{local} = \frac{SF_{6_{local}} - SF_{6_{RPB}}}{SF_{6_{ASC}} - SF_{6_{RPB}}} \quad (4.1)$$

$$X_{CEC} = ASC_{local} + RPB_{local} \times X_{RPB} \quad (4.2)$$

Onde ASC_{local} e RPB_{local} são as frações correspondentes de cada estação de ASC e RPB, respectivamente. $SF_{6_{local}}$, $SF_{6_{RPB}}$ e $SF_{6_{ASC}}$ são as concentrações de SF₆ nos locais estudados e, em RPB e ASC, respectivamente. X_{CEC} é a CEC de cada gás, e X_{RPB} , as concentrações de gás, neste caso de N₂O, em RPB.

4.3.2 Cálculo do Fluxo

O cálculo do fluxo de N₂O é obtido pela diferença entre a concentração de entrada na costa e o ponto de coleta e pelo tempo, em dias, percorrido pela massa de ar, desde a costa até o local de coleta (Equação 4.3), conforme descrito por Miller *et al.*, (2007), D'amélio *et al.*, (2009) e Gatti *et al.*, (2010) para cada perfil. Portanto, este fluxo representa a contribuição da emissão de N₂O pela área da Bacia Amazônica, representada neste estudo, entre a costa e cada local amostrado.

$$F_{N_2O} = \frac{\int_{Z_i}^{Z_f} [(X_{N_2O})_{local} - (X_{N_2O})_{bkg}] dz}{t} \quad (4.3)$$

Onde: X_{N_2O} é a concentração de N₂O nos perfis verticais realizados, considerando a variação de temperatura e pressão, de acordo com as altitudes de amostragem, na unidade mol m⁻³. Z_i e Z_f são as altitudes mínima e máxima, sendo mínima a superfície e máxima de 4,4 km (14500 pés) conforme pôde-se ver na Tabela 2, t é o tempo gasto pela massa de ar, em dias, entre a costa e o local amostrado.

A FIG. 28 mostra uma demonstração gráfica de como o cálculo é executado, calculando as variações na concentração, desde o solo até o topo do perfil, da massa de ar que adentra ao país. Em síntese, neste método é realizada a integração do perfil, após a subtração da concentração do ar de entrada no continente, considerando o tempo desta trajetória até o local do perfil, assim o resultado de fluxo representa todas as contribuições de emissões e absorções ocorridas desde a costa até o local de coleta.

Figura 28: Representação do modelo simplificado utilizado para o cálculo de fluxo pelo Método de Integração de Coluna, o qual integra a massa de ar desde o solo (face inferior do cubo em vermelho) até a 4,5 Km de altitude (face superior do cubo em azul).

4.3.3 Cálculo das Trajetórias Retrocedentes das Massas de Ar

Para se conhecer o percurso realizado e o tempo que as massas de ar levaram desde a costa até os locais de amostragem, foi utilizado o modelo HYSPLIT.

Para a estimativa das trajetórias foi utilizado o modelo de trajetórias Hysplit model (Hybrid Single-particle Lagrangian Integrated Trajectory) de

acordo com o método descrito por Draxler *et al.* (2003). Para cada perfil, as trajetórias retrocedentes foram calculadas por 240 horas (10 dias), a cada 500 m de altitude, no modo GDAS, sempre às 12 horas (16 horas GMT) na data da coleta, para determinar o tempo de percurso da massa de ar entre a costa brasileira e o local de estudo. A seguir, na FIG. 29 é apresentado um exemplo de como o tempo das trajetórias foi determinado.

Figura 29: Trajetórias das massas de ar retrocedentes geradas pelo modelo HYSPLIT onde os triângulos grandes simbolizam dias e os menores, frações de hora.

4.3.4 Cálculo da precipitação na região estudada

Para calcular a precipitação da região estudada foi utilizada a plataforma TRMM que é parte das atividades da NASA's Science Mission Directorate, que foram arquivadas e distribuídas pela Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) que podem ser encontrados em: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas/>.

4.3.5 Cálculo dos focos de queimada na região estudada

Os focos de queimada foram calculados por meio da página: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>, utilizando-se o satélite de referência AQUA M-T.

4.4 Caracterização das regiões estudadas

Cada região estudada foi caracterizada devido ao volume de chuvas, focos de queimada e movimentação das massas de ar, utilizando-se as técnicas e métodos descritos neste trabalho.

4.5 Uso da Concentração de CO como Traçador de Queima de Biomassa

Para identificar a influência da queima de biomassa e definir o valor da emissão oriunda desta, foi utilizado o gás CO como traçador de queimadas por meio da razão CO:N₂O (Andreae & Merletl, 2001; D'Amélio *et al.*, 2010).

A estimativa da razão CO:N₂O foi baseada na observação dos perfis da estação seca. Foram utilizados somente os perfis com pluma de queimada, isto é, onde o CO e o N₂O apresentaram um aumento considerável e comportamento semelhante em relação a CEC. Para o cálculo das razões também foi adotada uma restrição na qual só foram utilizados as concentrações acima de 1500 metros, afim de evitar que outros processos entre a biota e a atmosfera, como por exemplo a emissão de N₂O por conta de fertilização influenciasse na razão CO:N₂O. Na FIG. 30 pode-se observar um exemplo de como os perfis foram analisados e, a posteriori, aplicados ao estudo do fluxo proveniente da queima de biomassa.

Figura 30: Exemplo de perfil utilizado no cálculo da razão CO:N₂O, com as concentrações utilizadas até a altitude limite de 1500 m.

As emissões naturais de CO são provenientes do solo (Conrad & Seiler, 1985), e também da oxidação do metano e do isopreno emitido pelas plantas (Kuhn *et al.*, 2007). Para sua determinação, foi considerado o período sem influência de queimada como emissão natural. Para a determinação da emissão de CO pelas queimadas, este valor foi subtraído neste período, para evitar ser computada a emissão natural como sendo de queimada. Foi utilizada então a Equação 4.4 para o cálculo do fluxo de emissões de queimadas.

$$F_{N_2O \text{ Fogo}} = \left\{ \frac{\left[\frac{(F_{CO} - F_{CO \text{ Nat}})}{M_{CO}} \right]}{r_{CO:N_2O}} \right\} \times M_{N_2O} \quad (4.4)$$

Onde $F_{N_2O \text{ Fogo}}$ é o fluxo de N_2O oriundo de queima de biomassa; F_{CO} é o fluxo de CO ; $F_{CO \text{ Nat}}$ é o fluxo natural de CO durante o período sem queimadas $r_{CO:N_2O}$ é a razão $CO:N_2O$; M_{N_2O} é a massa molar do óxido nitroso e M_{CO} a massa molar do monóxido de carbono.

Após o cálculo do fluxo de queima de biomassa, torna-se possível a determinação do que foi chamado fluxo biogênico pela diferença entre o fluxo total de N_2O e o oriundo da queima de biomassa. Representa-se assim, todas as emissões que não são provenientes da queima de biomassa, desde as de origem naturais às de outras origens antrópicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Trajetórias

Pode-se observar na FIG. 31 e na FIG. 32, as trajetórias calculadas pelo modelo Hysplit, inseridas no software Google Earth®, o software foi utilizado para promover uma visualização mais clara de quais locais e em quais altitudes as massas de ar passam para os anos de 2010 e 2011.

As trajetórias apresentadas nestas figuras são todas aquelas utilizadas para o cálculo de dias que as massas de ar levaram da região da costa até o local de amostragem, que nas imagens estão representados por aviões azuis no ponto em que as coletas ocorreram.

Figura 31: Trajetórias retrocedentes de massas de ar para cada local de amostragem para todos os perfis do ano de 2010.

Figura 32: Trajetórias retrocedentes de massas de ar para cada local de amostragem para todos os perfis do ano de 2011.

Com estas figuras, tornou-se possível definir uma área de influência para cada local de coleta, ou seja, uma área em que a maior parte das massas de ar passou durante o período de estudo. Mesmo observando pequenas diferenças entre as movimentações das massas de ar entre um ano e outro, a área de influência pode ser considerada a mesma, uma vez que há uma maior densidade de massas de ar dentro de tal área.

Esta área de influência está representada na FIG. 33. Os resultados obtidos nas análises refletem a resultante de todos os processos que ocorrem desde a costa brasileira até o local de amostragem. Isto é, a concentração determinada no perfil vertical reflete o resultado de todos os processos de emissão e consumo de N_2O , ao longo de todo o trajeto das massas de ar.

Figura 33: Área de influência definida com base nas trajetórias retrocedentes calculadas pelo modelo Hysplit.

Outro processo de cálculo da área de influência utilizado foi o modelo flexpart, realizado pelo Dr. John B. Miller (NOAA), que se utiliza da mesma base de dados de trajetórias utilizadas pelo modelo Hysplit e mostra em cores a importância da região em termos de contribuição para o fluxo.

Mesmo estes métodos sendo diferentes, observa-se que o resultado final se aproxima bastante quanto às áreas de maior influência sobre o fluxo, demonstrando que realmente, para a região estudada, as contribuições ocorrem, em sua maior parte, entre a costa do nordeste brasileiro e os locais de amostragem, dando confiabilidade ao método de cálculo.

Figura 34: Calculada com modelo FLEXPART, a área de influência é determinada por escala de cores pela sensibilidade do CO₂ (0,001 a 0,200 ppm μmol⁻¹ m⁻² s⁻¹), a partir do amarelo claro até o vermelho. Onde “A” representa a área de Tabatinga; “B” representa a área de Santarém; “C” representa a área de Rio Branco; “D” representa a área de Alta Floresta. (Domingues, 2012).

5.2 Concentrações determinadas nos frascos de amostragem

Após as análises dos frascos coletados serem realizadas, foi possível observar que, a região estudada possui um comportamento de emissão de N₂O, uma vez que as concentrações apresentadas na FIG. 35 são, em sua maioria, superiores às encontradas nos locais utilizados como CEC, com a exceção de TAB que demonstrou tal comportamento apenas para o ano de 2010 e primeiro trimestre de 2011.

Figura 35: Média das concentrações encontradas nos pontos de amostragem e os dados de CEC encontrados nas ilhas de ASC e RPB.

Em compensação, TAB, que mesmo sendo um local que recebe contribuições de uma região bem extensa, apresentou concentrações abaixo das de entrada no continente, a partir de junho de 2011. Isto pôde ser observado na FIG. 32, onde foi mostrado que no ano de 2011, as massas de ar observadas não foram tão constantes, em se tratando de direção quanto às apresentadas na FIG. 31.

Na FIG. 36, estão apresentadas as médias das concentrações encontradas nos frascos de amostragem coletados acima de 3000 metros de altitude e abaixo de 1200 metros de altitude, ou seja, apenas o topo e abaixo da camada limite planetária (CLP), comparadas com as concentrações de CEC para os quatro locais de amostragem.

Figura 36: Concentrações de N_2O acima de 3km e abaixo de 1,2km de altitude. As linhas pretas e azuis indicam as concentrações de entrada no continente.

Esta figura mostra que há uma diferenciação visual entre o topo (>3 km) e a base (<1,2 km) do perfil vertical, onde para ALF, observa-se que em 2010 existiram períodos de emissão pela superfície (quando abaixo da CLP apresenta concentração maior que acima de 3 km) e outros mostrando absorção (quando abaixo da CLP está menor que acima de 3km). Em 2011 observa-se emissão para todo o ano. Os demais locais apresentam emissão (abaixo da CLP maior que acima de 3km) para a maior parte dos perfis verticais.

Já para o gás CO, como podemos observar na FIG. 37, apresenta um comportamento bastante claro. Nesta figura é possível observar que as concentrações encontradas na base do perfil, principalmente nas estações secas dos anos de 2010 e 2011, ou seja, a média das concentrações encontradas abaixo de 1200 metros de altitude tende a ser maior do que a média daquelas encontradas no topo do perfil (acima de 3000m).

Isto indica que no caso do CO, que é um gás de meia vida mais curta na atmosfera, aproximadamente 20 dias (Demore *et al.*, 1997; Gatti, *et al.*, 2010), a contribuição local é mais intensa do que no caso do N₂O, que tem contribuições locais (porção mais baixa do perfil) e regionais (porção mais alta do perfil) com intensidades semelhantes.

Figura 37: Concentrações de CO acima de 3km e abaixo de 1,2km de altitude. As linhas pretas e azuis indicam as concentrações de entrada no continente, os pontos em vermelho indicam os fracos coletados abaixo da CEC (abaixo de 1200) e os em azul acima de 3000m.

5.3 Cálculo da Razão $\text{CO}:\text{N}_2\text{O}$

Devido a região estudada ser diretamente influenciada pelo arco do desflorestamento (FIG. 38), que abrange não apenas o bioma amazônico como também outros biomas vizinhos como o cerrado e a caatinga, as queimadas são levadas em consideração para o cálculo do fluxo.

Figura 38: Arco do desflorestamento da Amazônia Legal (Fonte: IBAMA, 2008).

Para tanto uma relação $\text{CO}:\text{N}_2\text{O}$ foi determinada à partir das concentrações encontradas nos perfis tanto para CO quanto para N_2O , estas concentrações foram alinhadas conforme o exemplo mostrado anteriormente na FIG. 30.

Nas FIGs. 39, 40, 41 e 42 pode-se observar os arranjos feitos com as concentrações de ambos os gases, no ano de 2010, para que fosse possível visualizar e determinar quando estes exibem o mesmo comportamento.

Figura 39: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N₂O, na região de ALF.

Figura 40: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N₂O, na região de RBA.

Figura 41: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N₂O, na região de SAN.

Figura 42: Perfis de avião, com as concentrações de CO e N₂O, na região de TAB.

A região que foi influenciada mais claramente pela queima de biomassa foi a região de ALF, isso se dá não apenas pela observação da FIG. 39 como também pelo cálculo da razão que está apresentado na tabela abaixo.

Tabela 3: Razões CO:N₂O obtidas por perfil no ano de 2010 para os quatro locais de estudo juntamente com as médias e o desvio padrão das razões.

Local	Data	Razão CO: N ₂ O	Média	Desvio Padrão
ALF	13/08/10	375,8	324,9	132,9
	30/08/10	294,5		
	14/09/10	471,6		
	28/09/10	157,8		
RBA	10/08/10	169,5	150,5	52,8
	10/09/10	194,9		
	24/09/10	169,5		
	16/10/10	73,9		
SAN	07/01/10	35,3	81,6	76,9
	04/02/10	40,8		
	22/10/10	38,9		
	05/11/10	41,9		
TAB	17/07/10	27,7	146,3	192,6
	27/07/10	433,7		
	29/08/10	49,6		
	26/09/10	74,1		

Apesar de a região de ALF ter apresentado uma razão mais alta em relação as demais regiões, é esta região a que está mais inserida no arco do desflorestamento e também aquela em que a emissão do N_2O apresenta uma correlação mais clara com o CO para o período estudado. Pelo fato de as demais regiões apresentarem em seus perfis mais processos mistos e que não envolveram a produção de N_2O por meio da queima de biomassa contaminando nas plumas de queimada estudadas. Diante deste fato, assumimos que a razão encontrada nos perfis de ALF era a menos influenciada por outras emissões e portanto foi a razão utilizada para o cálculo do fluxo proveniente da queima para todos os locais.

Em comparação com estudos anteriores que estimaram esta razão, vemos que Andrea e Merlet (2001) mostraram um valor de razão CO: N_2O de 817 mol CO:mol N_2O , porém este mesmo trabalho aponta este resultado como *best guess*, ou seja, essa foi a melhor estimativa possível a ser feita pelos métodos empregados por estes autores neste estudo. Outra razão destes gases encontrada, desta vez, em um trabalho realizado por nosso laboratório, utilizando-se de dados de perfis verticais realizados apenas sobre a Floresta Nacional do Tapajós (área denominada SAN) foi estimada uma razão de 100 mol CO:mol N_2O (D'Amélio, 2010).

No ano de 2011, mais chuvoso que o de 2010 (FIG. 43 e FIG. 44), não foram detectadas influências significativas de queima de biomassa nos perfis de N_2O , utilizando-se a mesma razão de ALF determinada para o ano de 2010 para todo o período estudado.

Figura 43: Precipitação média mensal para o ano de 2010, obtida por meio de dados do satélite TRMM.

Figura 44: Precipitação média mensal para o ano de 2011, obtida por meio de dados do satélite TRMM.

Na FIG. 45, está apresentado o número total de focos de queimada para cada área de influência, apresentadas na FIG. 33, para os respectivos locais de amostragem, é importante frisar que o número total de focos, neste caso, não é o mais relevante a ser tomado em conta e sim o tamanho da área em que eles foram contabilizados.

Figura 45: Focos de queimada para os anos de 2010 e 2011 para a área dos quatro locais de amostragem.

Nota-se que ALF, RBA e TAB, apresentam números bastante próximos em focos de queimada, porém ALF representa uma área muito menor quando comparado aos outros dois locais, isto implica diretamente na influência da queima de biomassa para este local em particular e demonstra, além disso, que a densidade de focos de queimada é maior nesta região.

Ainda é possível ver, nesta figura, que a contagem de focos de queimada em 2011 foi, em geral, menor que a média de 2000 a 2009 e 2010, o que leva a concluir que o fluxo do ano em questão foi menos influenciado pela queima de biomassa que o de 2010.

5.4 Cálculo do Fluxo pelo método de integração de coluna

Estão apresentados na Tabela 4 os valores de fluxos determinados pelo método de integração de coluna para a área de influência de cada local de coleta.

Tabela 4: Fluxo Médio Anual em $\text{mgN}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ para os 4 locais de estudo para os anos de 2010 e 2011

Local	Fluxo Médio Anual ($\text{mgN}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)		
	2010	2011	Relação 2010/2011
SAN	$3,35 \pm 1,37$	$1,79 \pm 1,00$	53%
ALF	$1,73 \pm 0,49$	$0,65 \pm 0,57$	41%
RBA	$1,48 \pm 0,80$	$0,69 \pm 0,57$	40%
TAB	$1,16 \pm 0,32$	$0,75 \pm 0,41$	67%

Está claro que o ano de 2010 apresentou emissões muito maiores que o de 2011, o que em alguns casos, como os de ALF e RBA foi superior a duas vezes em termos numéricos. Porém, para a região de TAB vê-se que a emissão em 2011, foi a que menos reduziu, quando comparado a 2010. Isto sugere que a queima de biomassa e/ou a alteração no regime de chuvas entre

os dois anos não teve a mesma importância nesta região que abrange a porção mais ao norte e oeste da Bacia quando comparada com as regiões leste e sul.

Esta região é a mais preservada de toda a Bacia Amazônica e seu fluxo é menos influenciado pelas emissões antrópicas. Portanto a diferença nos demais locais deve estar mais vinculada a atividades antrópicas e o efeito da precipitação nestas emissões, ou ainda o estresse hídrico de 2010 pode ter promovido uma maior emissão de N_2O no ano de 2010 do que o excesso de precipitação em 2011 (Ruser, *et al.*, 2006).

É importante frisar que o fluxo da região de TAB em 2011 foi superior aos fluxos encontrados nas regiões de ALF e RBA, isto pode ser um indicativo de que as atividades antrópicas, mais densas nas regiões leste e sul da Bacia possam não ter influenciado tanto no fluxo ao longo de toda a Bacia quanto às atividades naturais da mesma, para este ano.

A Tabela 5, mostra os resultados de fluxo total, biogênico e proveniente da queima de biomassa para os quatro locais de amostragem.

Tabela 5: Fluxo Médio Anual total, biogênico e proveniente da queima de biomassa, em $\text{mgN}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ para os 4 locais de estudo para os anos de 2010 e 2011

Local	Fluxo Médio Anual ($\text{mgN}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)		
	Total	Bio	Fogo
2010			
SAN	$3,35 \pm 1,37$	$3,02 \pm 1,42$	$0,33 \pm 0,32$
ALF	$1,73 \pm 0,49$	$1,52 \pm 0,65$	$0,21 \pm 0,34$
RBA	$1,48 \pm 0,80$	$1,38 \pm 0,85$	$0,10 \pm 0,19$
TAB	$1,16 \pm 0,32$	$1,03 \pm 0,37$	$0,13 \pm 0,17$
2011			
SAN	$1,79 \pm 1,00$	$1,53 \pm 0,92$	$0,26 \pm 0,31$
ALF	$0,65 \pm 0,57$	$0,51 \pm 0,50$	$0,14 \pm 0,23$
RBA	$0,69 \pm 0,57$	$0,62 \pm 0,60$	$0,06 \pm 0,13$
TAB	$0,75 \pm 0,41$	$0,68 \pm 0,47$	$0,07 \pm 0,11$

Estes dados mostram que, realmente, a maior parte do fluxo de N_2O foi proveniente de atividades naturais ou antrópicas excluídas a queima de biomassa, uma vez que a maior diferença entre ambos os anos está na porção do fluxo denominado biogênico. Entende-se por fluxo biogênico o fluxo total subtraído da emissão de queimadas.

A influência da queima para o ano de 2010 foi em torno de 7% para RBA e 12% em ALF e, para o ano de 2011, de cerca de 9% em RBA e TAB e de 20% em ALF, o que leva a crer que o cálculo da razão $\text{CO}:\text{N}_2\text{O}$ é razoável com o encontrado com outros autores já citados anteriormente e pôde ser aplicado em ambos os períodos.

As figuras a seguir demonstram os fluxos totais, biogênicos e provenientes da queima e o cálculo de precipitação trimestrais para todos os locais de coleta, este arranjo foi escolhido para todas as regiões estudadas para obter-se uma visão mais clara dos resultados. O que possibilita uma comparação entre os valores encontrados para estas medidas.

A FIG. 46 ilustra, respectivamente, os resultados trimestrais de fluxo e de precipitação da região de ALF para os anos de 2010 e 2011.

De maneira geral, ALF para o ano de 2010, demonstra um comportamento de emissão de N_2O e que, de certa maneira, acompanha o mesmo comportamento da precipitação, levando a conclusão de que o regime de chuvas é bastante influente para o fluxo deste gás nesta região.

Nesta figura, observa-se que de certa forma o comportamento de emissão do N_2O alterou-se de um ano para o outro, em 2010 a precipitação parecia afetar diretamente o fluxo, porém em 2011, o mesmo não ocorreu na estação chuvosa.

As demais figuras, da FIG. 47 à FIG. 49, apresentam os mesmos dados calculados para as regiões de RBA, de SAN e de TAB.

Figura 46: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de ALF no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.

Figura 47: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de RBA no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.

Figura 48: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de SAN no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.

Figura 49: Fluxos e cálculo de precipitação trimestrais para a região de TAB no ano de 2010. As barras azuis (acima) representam os fluxos totais, as barras verdes representam os fluxos biogênicos, as barras vermelhas representam os fluxos provenientes do fogo e as barras azuis (abaixo) representam os valores de precipitação obtidos para o período.

Para o ano de 2010, RBA e TAB apresentaram um comportamento semelhante a ALF no tocante ao fluxo acompanhar a variação da precipitação, apenas a região de SAN no segundo trimestre de 2010 mostrou-se ligeiramente diferente, pois a precipitação mostrou-se maior e o fluxo menor que no primeiro trimestre, porém, para o restante do ano foi obtido o mesmo comportamento que o restante dos locais de amostragem.

Na porção leste de bacia (SAN e ALF), e com menor intensidade na porção sudoeste (RBA), no ano de 2011, é possível notar que no último trimestre, quando as chuvas passam a ocorrer com mais frequência e intensidade na região, o fluxo que vinha mais baixo para todo o ano volta a aumentar, isto só não pode ser observado em TAB onde o fluxo se manteve aproximadamente o mesmo. Estes resultados vão de encontro aos encontrados por Wick *et al.* (2005) que também encontraram uma maior emissão na estação chuvosa e com os resultados de Ruser *et al.* (2006) que em um estudo de câmaras determinaram que os fluxos de N_2O , por parte das bactérias, é aumentado quando após um estresse hídrico, ocorre uma umidificação do solo. Então o aumento da emissão de N_2O poderia ser devido a resposta das bactérias ao stress hídrico em 2010 seguido do início das chuvas.

Outros estudos apontam não só a umidade, como também a temperatura do solo como fator de influência nas emissões por parte dos microrganismos. O aumento da temperatura promove um aumento na emissão de N_2O por parte das bactérias do solo (Smith *et al.*, 2003). Segundo Gatti *et al.* (2013) o ano de 2010 foi um ano mais quente que a média dos últimos 30 anos, assim como 2011, porém 2010 foi ainda mais quente que 2011, como pode ser observado na FIG. 50. A temperatura pode ter sido determinante para 2010 ter apresentado um fluxo maior que 2011. Isto vai de encontro aos resultados obtidos por Schindlbacher *et al.* (2004), que mostram que o N_2O tem uma relação de aumento exponencial em relação à temperatura, e que existe uma relação ótima entre quantidade de água no solo e o tipo específico de bactérias presentes neste que regulam a emissão. Na FIG. 51 está o índice de Déficit de Água no solo para os anos de 2010 e 2011 e a média de 1998 a 2011.

Figura 50: Anomalia de precipitação (a e b) e de temperatura (c e d) para os anos de 2010 e 2011 (Adaptado de Gatti, *et al.* 2013),

Na FIG. 50, inclusive, nota-se que as regiões de SAN e ALF abrangem as regiões que foram mais influenciadas pelas áreas com maior anomalia de temperatura, isto pode ser um dos indicativos de porque o fluxo nestes locais são os maiores fluxos para o ano de 2010. Apenas SAN apresentou um fluxo maior que as demais localidades em 2011, ALF, por sua vez, apresentou um fluxo total menor que o encontrado em TAB e um fluxo biogênico menor que aquele encontrado em RBA (Tabela 5), apenas tendo um maior fluxo total que este último devido a forte influência de queima de biomassa que este local apresenta.

Figura 51: Déficit de Água no solo – Médias e desvio padrão para toda a Bacia, baseado em dados TRMM27.

A Tabela 6, mostra uma comparação dos resultados de fluxo calculados neste presente trabalho com resultados anteriores apresentados por Hirsch *et al.*, em 2006, e os encontrados neste laboratório por D'Amélio, em 2010. Note que, para o período estudado, os resultados vão de encontro aos estimados por autores anteriores dando confiabilidade ao método e possibilitando uma comparação deste com outros empregados mundialmente.

Tabela 6: Comparação entre os fluxos de N₂O em escalas global, regional e local para na Bacia Amazônica Brasileira.

Ecossistema/Local	Período	Fluxo(mgN ₂ O m ⁻² dia ⁻¹)
Escala Global		
GEIA tropical ¹	1990	1,0
Hirsch <i>et al</i> , tropical ¹	1998 – 2001	1,5 ± 0,6
GEIA América do Sul ¹	1990	1,6
Hirsch <i>et al</i> , América do Sul ¹	1998 – 2001	2,5 ± 0,9
Hirsch <i>et al</i> , América do Sul ¹	2002 – 2005	1,6 ± 0,5
Escala Regional		
SAN – Integração de Coluna ²	2001-2008	1,4 ± 1,4
SAN ³	2010	3,35 ± 1,37
ALF ³	2010	1,73 ± 0,49
RBA ³	2010	1,48 ± 0,80
TAB ³	2010	1,16 ± 0,32
SAN ³	2011	1,79 ± 1,00
ALF ³	2011	0,65 ± 0,57
RBA ³	2011	0,69 ± 0,57
TAB ³	2011	0,75 ± 0,41

¹Hirsch et al., 2006, média dos cenários A,B,C,D,G; S, Total das Américas derivado da escala tropical e total da América do Sul para os fluxos da GEIA; ² D'Amélio , 2010; ³Presente trabalho

Utilizando-se dos dados de fluxo e as áreas de influência de cada local para estimar a emissão para a área da Bacia Amazônica Brasileira (6,77 milhões de km², INPE, 2011), calculou-se a média ponderada dos fluxos totais, biogênicos e provenientes da queima de biomassa levando-se em

consideração a área de influência dentro da Bacia Amazônica, informada na Tabela 7 para os quatro locais de estudo. Obteve-se uma emissão total de 3,84 TgN₂O ano⁻¹ para o ano de 2010 e de 1,93 TgN₂O ano⁻¹ para o ano de 2011, estes dados estão presentes na Tabela 7 juntamente com os dados de fluxos totais, de emissões biogênicas e das provenientes de queimada, os dados de precipitação e focos de queimada, a área de influência de cada local de amostragem e ainda a emissão total em TgN₂O ano⁻¹ para ambos os períodos estudados.

Tabela 7: Emissões totais, biogênicas e de queima de biomassa, dados de precipitação e de focos de queimada e emissões totais da Bacia Amazônica para os anos de 2010 e 2011

média anual	TAB	Local		
		RBA	SAN	ALF
	2010			
N ₂ O total ¹	1,16	1,48	3,35	1,73
N ₂ O Bio ¹	1,03	1,38	3,02	1,52
N ₂ O Fire ¹	0,13	0,10	0,33	0,21
Precip. (mm)	1813	1713	1441	1358
Focos	118.751	149.073	50.541	109.770
Area (Km²)	2.534.965	3.671.329	588.235	1.311.189
Emissão Total	3,84 TgN ₂ O ano ⁻¹			
	2011			
N ₂ O total ¹	0,75	0,69	1,79	0,65
N ₂ O Bio ¹	0,68	0,62	1,53	0,51
N ₂ O Fire ¹	0,07	0,06	0,26	0,14
Precip. (mm)	2206	1968	1832	1712
Focos	61.050	73.010	34.183	59.565
Area (Km²)	2.534.965	3.671.329	588.235	1.311.189
Emissão Total	1,93 TgN ₂ O ano ⁻¹			

¹ Dados em mgN₂O·m⁻²·dia⁻¹

Nesta tabela constam todos os dados obtidos neste estudo e ela mostra que não apenas o valor do fluxo é levado em consideração ao extrapolar-se os dados para toda a bacia, mas a área de representatividade do local em que este fluxo foi determinado pode ser mais importante do que este número. Neste caso, RBA que não apresenta o maior fluxo de N_2O , tem maior influência no cálculo das emissões totais justamente por representar uma área maior, o que demonstra que o fluxo desta área é mais representativo para o total do que por exemplo SAN, que representa a menor área, porém apresenta o maior fluxo e.

Estes dados representam não só emissões naturais ou antrópicas, mas a resultante de todas as emissões/absorções ocorridas na Amazônia para o período estudado. Um relatório produzido pelo EPA (*United States Environmental Protection Agency*) em 2010 apresenta as contribuições tanto das emissões antrópicas, quanto das naturais, para o gás N_2O emitido mundialmente, assim como este presente trabalho, no obteve-se a resultante de todos os processos no caminho das massas de ar desde a costa até os locais de amostragem. Este relatório traz como emissão mundial de N_2O , um valor de $18,8 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$, sendo deste total, 64% ($12,1 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$) proveniente de fontes naturais.

Levando em conta estes resultados observou-se que, as emissões determinadas neste trabalho representam cerca de 20% do total global em 2010 e 10% do total em 2011, mostrando a importância da Bacia Amazônica como fonte global de N_2O .

As emissões oriundas da queima de biomassa para toda a bacia amazônica foram de 0,23 a $0,35 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$, em 2011 e 2010 respectivamente, significando de 12 a 9% da emissão total da bacia para os anos de 2011 e 2010, utilizando a razão encontrada neste estudo de $324,9 \pm 132,9 \text{ ppb de CO para cada ppb de N}_2\text{O}$. Quando comparamos a emissão global de N_2O , para 2008, utilizando como fonte EDGAR e a emissão oriunda da queima de biomassa obteve-se uma participação desta fonte de 13% da emissão antrópica total ($11 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$), onde a fonte global de queima de biomassa é de $1,4 \text{ TgN}_2\text{O ano}^{-1}$. O percentual deste tipo de emissão

encontrado neste estudo para a Bacia Amazônica está próximo da media global, significando de 16 a 25% da emissão global de queima de biomassa.

5.5 Estudo da perda de fluxo pela limitação de altitude do perfil vertical

Os aviões contratados para a realização dos voos fretados para a execução das amostragens são aviões de pequeno porte, sem cabine pressurizada e com motores de potencia reduzida, portanto, estão bastante restritos em relação à altitude de voo o que limita as coletas a 4,4km de altitude.

Como teste para saber se o voo, com o teto de 4,4km de altitude, tem informação suficiente para o calculo de fluxo, elaboramos como teste a subtração da média dos frascos coletados acima de 3000m de altitude da concentração de entrada no continente. Caso este resultado apresente um valor positivo, isto significa que ainda falta informações acima desta altitude que farão diferença no calculo do fluxo e esta diferença significará que o fluxo é maior do que obtivemos. Caso a CEC seja maior que a média acima dos 3 km, significa que estamos perdendo informação de absorção de N_2O por parte da floresta. Na Figura 52 pode-se observar o resultado deste teste, para os quatro locais de estudo. Nesta figura é importante notar que a maior parte dos resultados é positiva, significando perda de informação de fluxo positivo. Para todos os locais de estudo, observa-se apenas 5 perfis onde o resultado é negativo. Como nosso calculo é de integração de coluna, esta diferença não entrará na integração, gerando assim fluxos menores que o real. As diferenças médias encontradas para as 4 localidades estão apresentadas na Tabela 8. Como podemos observar a diferença no ano de 2010 é maior que em 2011. Como 2011 foi um ano com mais chuvas, seria esperado que a perda maior fosse em 2011 e não em 2010, uma vez que a nuvem convectiva poderia estar gerando uma perda por convecção, retirando o gás na faixa abaixo da nuvem e levando para acima desta e em contrapartida trazendo um ar de concentração menor, causando assim uma diluição e perda de informação no calculo de fluxo.

Tabela 8: Média dos frascos coletados acima de 3 km de altitude subtraídos das Concentrações de Entrada no Continente para os quatro locais de amostragem

LOCAL	> 3 km – CEC (ppb)	
	2010	2011
SAN	1,14 ± 0,42	0,52 ± 0,37
ALF	1,08 ± 0,41	0,52 ± 0,48
RBA	0,97 ± 0,76	0,75 ± 0,55
TAB	0,80 ± 0,66	0,48 ± 0,76
Média	1,00 ± 0,15	0,57 ± 0,12

Figura 52: Concentrações obtidas nos frascos coletados acima de 3000m subtraídos do valor de CEC.

Ao constatar que a diferença foi maior em 2010 do que 2011, investigou-se a hipótese desta diferença ter uma origem analítica, além da possível perda por convecção. Como o cálculo da concentração de entrada é baseado no cálculo da fração obtida pelo SF_6 e depois aplicada nas informações de N_2O em ASC e RPB, medidas pela NOAA, uma possível fonte de erro seria a diferença na quantificação de N_2O pelo IPEN e a NOAA. Em Natal ambos os laboratórios realizam uma inter comparação semanal com amostragem de frascos, porém esta inter comparação foi iniciada no final de 2010, apresentando apenas 7 resultados para este ano, o que seria inconclusivo. Sendo assim, podemos avaliar a diferença apenas para 2011. Esta diferença foi de $0,24 \pm 0,59$ ppb. Pelo fato da diferença encontrada ser próxima da diferença entre as médias dos frascos coletados acima de 3 km de altitude e a CEC, fica inconclusivo determinar o quanto cada possível fonte de erro contribuiu.

Para tentar estimar esta perda de informação no fluxo, desconsiderando a diferença analítica de $0,24 \pm 0,59$ ppb entre os 2 laboratórios, foi suposto que a 10 km de altitude as concentrações do perfil seriam iguais as CEC. Portanto foi calculado pelo método de integração de coluna o fluxo relativo entre 4,4km e 10 km, considerando uma diminuição linear até 10 km, onde a concentração do perfil seria igual à CEC, dividido pelo número de dias médio da porção mais alta do perfil (>3km) Na Tabela 9 estão apresentados os resultados encontrados no cálculo de fluxo apresentado anteriormente (até 4,4 km de altitude) em comparação com os fluxos obtidos utilizando o topo do perfil como 10 km de altitude e o valor de concentração igual ao das CEC.

De fato este estudo demonstrou que pode haver perda de fluxo devido à falta de informação de concentração acima do teto do perfil vertical. Observou-se também que para ALF e RBA, situados na porção sul da região estudada, as perdas foram maiores que para SAN e TAB, situados na região norte. Considerando que os tempos de trajetória são maiores para os locais na região sul, estes resultados refletiriam a fonte de erro relativa a perda de informação acima de 4,4km de altitude.

Tabela 9: Comparação entre os fluxos médios anuais para os anos de 2010 e 2011 até 4,4km de altitude e até 10 km de altitude

Fluxo Médio Anual ($\text{mgN}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)			
Local	4,4 km	10 km	Diferença (%)
2010			
SAN	$3,35 \pm 1,37$	$4,41 \pm 1,62$	20
ALF	$1,73 \pm 0,49$	$2,40 \pm 0,57$	21
RBA	$1,48 \pm 0,80$	$2,75 \pm 0,99$	20
TAB	$1,16 \pm 0,32$	$1,63 \pm 0,45$	20
2011			
SAN	$1,79 \pm 1,00$	$2,21 \pm 1,07$	20
ALF	$0,65 \pm 0,57$	$0,98 \pm 0,60$	24
RBA	$0,69 \pm 0,57$	$0,91 \pm 0,67$	25
TAB	$0,75 \pm 0,41$	$1,15 \pm 0,68$	20

Como apresentado na Figura 32, onde foi possível ver uma maior movimentação das massas de ar e na Figura 44, onde mostrou-se uma maior incidência de chuvas no ano de 2011, ambos os fatores, podem ter contribuído para uma maior remoção de N_2O da atmosfera nestes locais.

6 CONCLUSÕES

O resultado encontrado para a Bacia Amazônica por este estudo mostrou que a Amazônia contribuiu com uma emissão de 1,93 a 3,84 TgN₂O ano⁻¹ em 2011 e 2010 respectivamente, significando de 10 a 20% da emissão global de N₂O, utilizando como fonte o relatório fornecido pela EPA, onde se apresenta a emissão mundial de 18,8 TgN₂O ano⁻¹.

As emissões oriundas da queima de biomassa para toda a bacia amazônica foram de 0,23 a 0,35 TgN₂O ano⁻¹, em 2011 e 2010 respectivamente, significando de 12 a 9% da emissão total da bacia para os anos de 2011 e 2010, utilizando a razão encontrada neste estudo de 324,9 ± 132,9 ppb de CO para cada ppb de N₂O. Quando comparamos a emissão global de N₂O, para 2008, utilizando como fonte EDGAR e a emissão oriunda da queima de biomassa obteve-se uma participação desta fonte de 13% da emissão antrópica total (11 TgN₂O ano⁻¹), onde a fonte global de queima de biomassa é de 1,4 TgN₂O ano⁻¹. O percentual deste tipo de emissão encontrado neste estudo para a Bacia Amazônica está próximo da media global, significando de 16 a 25% da emissão global de queima de biomassa.

Os fluxos totais encontrados em todos os locais de estudo apresentaram caráter emissivo para ambos os anos estudados, os valores de fluxo estimados para cada local foram para o ano de 2010: na porção leste da Bacia 3,35 ± 1,37 e 1,73 ± 0,49 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹ para SAN e ALF respectivamente e 1,48 ± 0,80 e 1,16 ± 0,32 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹ para RBA e TAB na porção oeste da Bacia. Estes dados apontaram que as atividades humanas podem ter influenciado mais neste ano em questão, uma vez que a porção leste da Bacia sofre mais influencia do homem em relação à região oeste. A emissão de 2011 foi 1,79 ± 1,00 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹ para a área de SAN e 0,75 ± 0,41 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹ para a área de TAB. ALF e RBA tiveram fluxos de 0,65 ± 0,57 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹ e 0,69 ± 0,57 mgN₂O.m⁻².dia⁻¹, respectivamente. Estes resultados demonstraram que há diferença interanual dos fluxos e também entre as diversas regiões da Bacia, em 2010 ALF foi a segunda região com maior fluxo e em 2011 apresentou o menor fluxo. A área de SAN, mais a nordeste e mais antropizadas das 4 regiões de estudo, com a presença de atividades agropecuárias e grande

densidade de população humana, apresentou os maiores fluxos encontrados em ambos os anos.

Os fluxos provenientes da queima de biomassa foram SAN: $0,33 \pm 0,32 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; ALF: $0,21 \pm 0,34 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; RBA: $0,10 \pm 0,19 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e TAB: $0,13 \pm 0,17 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em 2010 e em 2011 SAN: $0,26 \pm 0,31 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; ALF: $0,14 \pm 0,23 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; RBA: $0,06 \pm 0,13 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e TAB: $0,07 \pm 0,17 \text{ mgN}_2\text{O.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Onde SAN apresentou uma emissão apenas 20% menor em 2011 e TAB apresentou a maior variação com uma redução de emissão de 46%.

Os fluxos biogênicos, obtidos pela subtração dos fluxos de queima de biomassa do fluxo total indicaram que as variações do fluxo de N_2O estão mais direcionadas ao fluxo biogênico do que proveniente das queimadas, muito provavelmente devido ao aumento da temperatura no solo e ao diferente regime de chuvas entre os dois anos estudados.

O resultado do teste do método de integração de coluna, considerando um perfil hipotético até uma altitude de 10 km, mostrou que existe uma perda relativa ao método de cálculo de fluxo quando a coleta é realizada até 4,4km de aproximadamente 20 a 25%. Esta diferença pode ter origem na limitação da coleta até esta altitude, porém, não se pode descartar a possibilidade desta diferença ter ocorrido por um erro analítico devido à medição de N_2O ser feita neste laboratório, e a utilização dos dados de ASC e RPB medidos pela NOAA.

7 SUGESTÃO DE ESTUDOS FUTUROS

Os resultados apresentados mostraram a importância de se estudar a Bacia Amazônica como um todo e a necessidade de se aprimorar as técnicas utilizadas para a minimização de erros, como por exemplo a execução de perfis verticais mais altos, até 10km de altitude, ou ainda o mesmo laboratório obter os dados de CEC os de concentrações dos locais de estudo em um mesmo equipamento e a realização de análises em triplicata para os resultados, que se iniciaram no ano de 2012.

8 REFERÊNCIAS

1. AHRENS, C.D. ***Essentials of Meteorology: An invitation to the Atmosphere***. 3.ed. Canadá: Brooks/Cole Thomson Learning, 2000.
2. ANDREAE, M. O. & MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. ***Global Biogeochem Cycles***, v. 15, p. 955–966, 2001.
3. BASSO, L. S. ***Estudo da emissão de metano da Bacia Amazônia utilizando perfis verticais com avião***. 2011. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
4. CHOU, W. W., S. C. WOFSY, R. C. HARRISS, J. C. LIN, C. GERBIC, AND G. W. SACHSE. Net flux of CO₂ in Amazonia derived from aircrafts observations. ***Journal of Geophysical Research***, v. 107, p. 4614, 2002.
5. CONRAD, R. & SEILER, W. Influence of temperature, moisture and organica carbon on the flux of H₂ and CO between soil and atmosphere: filed studies in subtropical regions. ***Journal Geophysics Research***, v. 90, p. 5699-5709, 1985.
6. CRAMER, W., BONDEAU, A., SCHAPHOFF, S., LUCHT, W., SMITH, B., SITCH, S. Tropical forests and the global carbon cycle: Impacts of atmospheric CO₂, climate change and rate of deforestation. ***Philosophical Transactions Royal Society of London Series***, v. 359, p. 331-343, 2004.
7. D'AMÉLIO, M. T. S. ***Estudo de Fluxo de Óxido Nitroso (N₂O) regional na Bacia Amazônica***. 2010. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
8. D'AMÉLIO, M. T. S., GATTI, L. V., MILLER, J. B., TANS, P. Regional N₂O fluxes in Amazonia derived from aircraft vertical profiles. ***Atmospheric Chemistry and Physics***, v. 9, p. 8785-97, 2009.
9. DAVIDSON, E. A., BUSTAMANTE, M. M. C., PINTO, A. S. Emissions of Nitrous Oxide and Nitric Oxide from Soils of Native and Exotic Ecosystems

- of the Amazon and Cerrado Regions of Brazil. ***The Scientific World***, v. 1, p. 312-319, 2001.
10. DEFRIES, R. S., RUDEL, T., URIARTE, M. & HANSEN, M. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. ***Nature Geoscience***, v. 3, p. 178-181, 2010.
11. DEMORE, W. B., SANDER, S. P., GOLDEN, D. M., HAMPSON, R. F., KURYLO, M. J.; HOWARD, C.J.; RAVISHANKARA, A.R.; KOLB, C.E.; MOLINA, M.J. 1997. Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling. **Jet Propulsion Laboratory**, CA, USA, 266.
12. DEMORE, W. B., SANDERS, S. P., GOLDEN, D. M., HAMPSON, R. F., KURYLO, M. J. Chemical kinetics and photochemical data for use in stratospheric modeling. **Jet Propulsion Laboratory**, p. 266, 1997.
13. DOMINGUES, L. G. ***Estudo do papel da Bacia Amazônica na emissão/absorção de dióxido de carbono durante o ano de 2010***. 2012. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
14. DRAXLER, R.; ROLPH, G. ***HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)***, 2003. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. Disponível em: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Acesso em 20 jun, 2012.
15. EDGAR - European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). ***Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR, release version 4.0)***. Disponível em: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>. Acesso em: 12 nov. 2013.
16. EPA – United States Environmental Protection Agency. ***Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources***. Washington DC, 2010.
17. GATTI, L. V.; MILLER, J. B.; D'AMELIO, M. T. S.; MARTINEWSKI, A.; BASSO, L. S.; GLOOR, M.; WOFSY, S.; TANS, P. Vertical profiles of CO₂ above eastern Amazonia suggest a net carbon flux to the atmosphere and

-
- balance biosphere between 2000 and 2009. ***Tellus B Chemical and Physical Meteorology***, v. 62, p. 581-594, 2010.
18. GATTI, L.V.; GLOOR, M.; MILLER, J.B.; DOUGHTY, C.E.; MALHI, Y.; DOMINGUES, L.G.; BASSO, L.S.; MARTINEWSKI, A.; CORREIA, C.S.C.; BORGES, V.F.; FREITAS, S.; BRAZ, R.; ANDERSON, L.O.; ROCHA, H.; GRACE, J.; PHILLIPS, O.; LLOYD, J. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. ***Nature***, 2013, *in pres.*
 19. GLOOR, M., GATTI, L. V., BRIENEN, R. J. W. , FELDPAUSCH, T., PHILLIPS, O., MILLER, J., OMETTO J., DA ROCHA, H. R., BAKER, T., HOUGHTON, R., MALHI, Y., ARAGÃO, L., GUYOT, J., ZHAO, K., JACKSON, R., PEYLIN, P., SITCH, S., POULTER, B., LOMAS, M., ZAEHLE, S., HUNTINGFORD, C., LLOYD, J. The Carbon balance of South America: status, decadal trends and main determinants. ***Biogeosciences Discuss***, v. 9, p. 627–671, 2012.
 20. GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998. 235 p.
 21. HIRSCH, A.I.; MICHALAK, A.M.; BRUHWILER, L.M.; PETERS, W.; DLUGOKENCKY, E.J.; TANS, P.P. Inverse modeling estimates of the global nitrous oxide flux from 1998-2001, ***Global Biogeochemical Cycle***, 20, GB1008, doi: 10.1029/2004GB002443, 2006.
 22. INPE. *PRODES (Projeto de Deflorestamento da Amazônia)*, <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> . Acesso em 27 abr. 2011.
 23. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change***. eds. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M.M.B.; Miller Jr, H. L.; Chen, Z. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
 24. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers***. eds.

-
- STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.M.B.; ALLEN, S.K.; BOSHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. IPCC, Suíça, p.13, 2013.
25. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Climate Change, The Scientific Basis***. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, p. 252, 2001.
26. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories***, Japan, v. 4, p. 6.24-6, 2006
27. KELLER, M.; VELDEKAMP, E.; WEITZ, A.M.; REINERS, W.A. Pasture age effects on soil-atmosphere trace gas exchange in a deforested area of Costa Rica, ***Nature***, 365, 244-246, 1993.
28. KROEZE, C.; MOSIER, A.; NOUWMAN, L. Closing the global N₂O budget: A retrospective analysis 1500-1994. ***Global Biogeochemical Cycles***, v. 13, p. 1-9, 1999.
29. KUHN, U., ANDREAE, M. O., AMMANN, C., ARAUJO, A. C., BRANCALEONI, E. Isoprene and monoterpene fluxes from central Amazonian rainforest inferred from tower-based and air-borne measurements, and implications on the atmospheric chemistry and the local carbon budget. ***Atmospheric Chemistry Physics***, v. 7, p. 2855-2879, 2007.
30. MALHI Y. & WRIGHT J. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical forest regions. ***Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series***, v. 359, p. 311-329, 2004
31. MALHI, Y.; MEIR, P.; BROWN, S. Forests, carbon and global climate. ***Philosophical Transactions Royal Society of London Series***, v. 360, p. 1567-1591, 2002.
32. MARENGO, J. ***Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século***

-
- XXI.** 2º ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007.
33. MARIMON, B. S., LIMA, E., DUARTE, T. G., CHIEREGATTO, L. C., RATTER, J. A. Observations on the vegetation of northeastern mato grosso, brazil. iv. an analysis of the cerrado–amazonian forest. ***Edinburgh Journal of Botany***, v. 63, p. 323-341, 2006.
34. MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. ***Segunda Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima***. Brasília, 2010.
35. MELILLO, J.; STEUDLER, P.A.; FEIGL, B.J.; NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, D.C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C.; TIAN, H. Nitrous oxide emissions from forest and pastures of various ages in the Brazilian Amazon, ***Journal of Geophysical Research***, 106, 34179-34188, 2001.
36. MILLER, J.B.; GATTI, L.V.; D'AMELIO, M.T.S.C.; CROTWELL, A.; DLUGOCKENKY, E.; BAKWIN, P.; ARTAXO, P.; TANS, P. Airborne measurements indicate large methane emissions from the eastern Amazon Basin. ***Journal of Geophysical Research***, v. 34, p. L10809, 2007.
37. MOSIER, A.; KROEZE, C.; NEVISON, C.; OENEMA, O.; SEITZINGER, S.; VAN CLEEMPOT, O. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle - OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. ***Nutrient Cycling in Agroecosystems***, v. 52, p. 225-248, 1998.
38. NEPSTAD, D. C., MOUTINHO, P., DIAS-FILHO, M. B., DAVIDSON, E., CARDINOT, G., MARKEWITZ, D., FIGUEIREDO, R., VIANNA, N., CHAMBERS, J., RAY, D., GUERREIROS, J. B., LEFEBVRE, P., STERNBERG, L., MOREIRA, M., BARROS, L., ISHIDA, F. Y., TOHLVER, I., BELK, E. KALIF, K., SCHWALBE, K. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. ***Journal Geophysics Research***, v. 107, p. 1-18, 2002.

39. NOBRE, C. A. & NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Scielo Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, 2002.
40. OLIVER, J. G. J., BOUWMAN, A. F., BERDOWSKI, J. J. M., VELDT, C., BLOOS, J. P. J., VISSCHEDIJK, A. J. H., VAN DER MAAS, C. W. M., ZANDVELD, P. Y. J. Sectorial emission inventories of greenhouse gases for 1990 on per country basis as well on 10 x 10. **Environmental Scientific Policy**, v. 2, p. 241-264, 1999.
41. OLIVIER, J.G.J.; BOUWMAN, A.F.; VAN DER HOEK, K.W.; BERDOWSKI, J.J.M. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990. **Environmental Pollution**, v. 102, p. 135-148, 1998.
42. PERZ, S. G., ARAMBU, C., BREMNER, J. Population, Land use and Deforestation in the Pan Amazon Basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru and Venezuela. **Environment Development and Sustainability**, v. 7, p. 23-49, 2005.
43. PRODES – Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal. **Relatório PRODES 2010**, 2010. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/RelatorioProdes2010.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2013.
44. REGALADO, A. Brazil says rate of deforestation in Amazonia continues to plunge. **Science**, v. 329, p. 1270-1271, 2010
45. ROBERTSON, G.P.; PAUL, E.A.; HARWOOD, R.R. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere, **Science**, 289, 1922-1925, 2000.
46. RUSER, R.; FLESSA, H.; RUSSOW, R.; SCHMIDT, G.; BUEGGER, F.; MUNCH, J.C. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 263–274, 2006.
47. SCHINDLBACHER, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂ and N₂O emissions from European forest soils. **Journal of Geophysical Research**, 109, D17302, 2004.

48. SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F., ET al. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere interactions of soil physical factors and biological processes, **European Journal of Soil Science**, 54, 779-791, 2003.
49. STEPHENS, G.L.; LI, J.; WILD, M.; CLAYSON, C.A.; LOEB, N.; KATO, S.; L'ECUYER, T.; STACKHOUSE JR, P.W.; LEB SOCK, M.; ANDREWS, T., **An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations**, *Nat. Geosci.*, v.5, p.691-696, 2012.
50. THIEMENS, M.H.; TROGLER, W.C. Nylon production – an unknown source of atmospheric nitrous-oxide, **Science**, 251, 932-934, 1991.
51. VAN HAREN, J.L.M.; HANDLEY, L.L.; BIEL, K.Y.; KUDEYAROV, V.N.; MCLAIN, J.E.T.; MARTENS, D.A.; COLODNER, D.C. Drought-induced nitrous oxide flux dynamics in an enclosed tropical forest, **Global Change Biology**, 11, 1247–1257, 2005.
52. WICK, B.; VELDKAMP, E.; DE MELLO, W.Z.; KELLER, M.; CRILL, P. Nitrous oxide fluxes and nitrogen cycling along a pasture chronosequence in Central Amazonia, Brazil, **Biogeosciences**, 2, 175-187, 2005.
53. WMO - World Meteorological Organization. **Greenhouse Gas Bulletin - The state of Greenhouse gases in the atmosphere using global observation through 2010**. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_bull_8en.pdf. Acesso em 17 jul. 2013.