



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

**TROCAS GASOSAS DE CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O ENTRE SOLO E  
ATMOSFERA EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA  
NOS MUNICÍPIOS DE BELTERRA E SANTARÉM, PARÁ**

**FABIANE CAMPOS DOS SANTOS**

**Santarém, Pará  
Setembro, 2012**

**FABIANE CAMPOS DOS SANTOS**  
**Engenheira Florestal**

**TROCAS GASOSAS DE CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O ENTRE SOLO E  
ATMOSFERA EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA  
NOS MUNICÍPIOS DE BELTERRA E SANTARÉM, PARÁ**

**ORIENTADOR:** DR. RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JUNIOR  
(PESQUISADOR EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL).

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Processos de interação Biosfera - Atmosfera

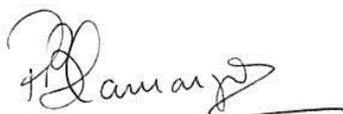
**Santarém, Pará**  
**Setembro, 2012**

# TROCAS GASOSAS DE CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O ENTRE SOLO E ATMOSFERA EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA NOS MUNICÍPIOS DE BELTERRA E SANTARÉM, PARÁ.

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Processos de interação Biosfera – Atmosfera. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em 28 de Setembro de 2012.

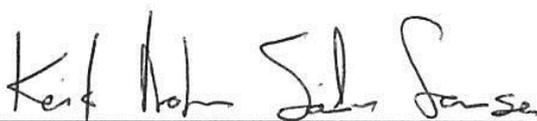
Prof. Dr. Luís Reginaldo Ribeiro Rodrigues (UFOPA)  
Coordenador do PGRNA

Apresenta à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:



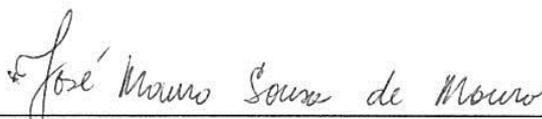
---

Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo (USP- Piracicaba)  
Examinador 01



---

Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa (UFOPA)  
Examinador 02



---

Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura (UFOPA)  
Examinador 03



---

Prof. Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Júnior (EMBRAPA)  
Orientador

Santarém- PA, Setembro de 2012.

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Gestão da Informação – SIGI/UFOPA**

---

S237t Santos, Fabiane Campos dos  
Trocas gasosas de CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará / Fabiane Campos dos Santos. – Santarém, 2012.  
60 f.: il.  
Inclui bibliografias.

Orientador Raimundo Cosme de Oliveira Junior  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Santarém, 2012.

1. Atmosfera. 2. Gases. 3. Efeito estufa. 4. Metano. 5. Óxido nitroso. 6 Terra - uso. 7. Belterra (Pa). 8. Santarém (Pa). I. Oliveira Junior, Raimundo Cosme de , orient. II. Título.

CDD: 23 ed. 551.5112

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus; aos meus pais, Celestina e Ozias, pelo apoio incondicional e pelos ensinamentos, que se traduzem hoje em minhas realizações. À minha grande família, que a todo momento, e mesmo com a distância, esteve sempre ao meu lado me incentivando. E aos meus novos amores, Felipe Samuel e Ricardo Camargo.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Raimundo Cosme de Oliveira Jr. pela credibilidade, palavras sábias, conhecimentos repassados, paciência e apoio constante em todas as fases dessa dissertação.

Ao professor Clodoaldo Alcino, Michela Figueira e Troy Beldini, pelo acompanhamento, amizade e sugestões feitas para o aperfeiçoamento deste trabalho. Aos pesquisadores Toby Gardner e Joice Ferreira pela oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa.

Aos avaliadores Plínio Camargo, Keid Nolan e José Mauro, pelas valiosíssimas contribuições e melhorias para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À Universidade Federal do Oeste do Pará e ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

Aos professores do PPGRNA, pela lição do saber, pela orientação, dedicação, por repartirem suas experiências e auxiliarem a trilhar este caminho.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A Embrapa Amazônia Oriental e LBA/Santarém pelo apoio logístico.

A todos os colegas do PPGRNA, pelos estudos e trabalhos em grupo, convívio, amizade, pelas alegrias e angústias compartilhadas no mestrado, em especial a Helton Lameira, Valeria Mourão, Paulo Bentes, Raphael Tapajós, Diana Amazonas, Miercio Junior, Leidiane Cavalcante, Fábio Guerra, Josué Linhares e Wildercley Machado.

A Cleuton Pereira pelo apoio e suporte nas coletas de campo e nas análises cromatográficas. Aos funcionários da Embrapa pela acolhida e auxílio nas coletas de campo. Aos que também ajudaram nas coletas de campo, Miyuki Mitsuya e Dailson Batista.

Aos amigos de Santarém e de Rio Branco, que sempre se fizeram presentes por meio de mensagens e orações, em especial, Sheila Costa, Vera Level, Alisson Castro, Graça Fernandes, Suelen Regina, Elissandra e George Pisa.

A todos aqueles que não me esqueceram quanto mudei de cidade, a minha enorme família espalhada por esse Norte do Brasil e aos amigos, por acreditarem que a distância não me impediria de realizar este sonho.

Aos meus pais, que se doaram inteiros e renunciaram muitas vezes aos seus sonhos, para que eu pudesse realizar alguns dos meus, pelos ensinamentos, incentivos constantes e compreensão na minha ausência. Aos meus irmãos Liliane e Júnior que acompanham e

apoiam minha trajetória em busca de conhecimento, a minha cunhada Suelen Ribeiro, e ao meu sobrinho Felipe Samuel presente de Deus a nossa família.

Ao meu noivo Ricardo Camargo pela compreensão, carinho, paciência, momentos de alegria, por acreditar e me fazer acreditar nesse projeto, e acima de tudo por seu amor dedicado, pessoa onde encontro tudo o que sempre almejei ter.

A Deus sobre todas as coisas. Autor da vida e de tudo o que existe, por se fazer presente em todos os momentos dessa caminhada e por me conceder sabedoria e determinação para a realização deste sonho.

## EPÍGRAFE

**“O futuro não é o lugar para onde estamos indo, mas o lugar que estamos criando. O caminho para ele não é encontrado, mas construído, e o ato de fazê-lo muda tanto a realidade quanto o destino!”**  
(John Shaor).

SANTOS, Fabiane Campos. **Trocas gasosas de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará.** 2012. 60p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Processos de Interação Biosfera - Atmosfera. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA, Santarém, 2012

## RESUMO

A mudança de uso e manejo do solo vem ocorrendo de forma dinâmica e com elevada intensidade, sobretudo na região Amazônica, o que pode resultar em fonte ou dreno de gases do efeito estufa para a atmosfera. Este trabalho objetivou quantificar as trocas gasosas de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura, e examinar as variáveis ambientais reguladoras das trocas gasosas nas áreas amostradas. Essas medidas foram realizadas através de câmaras instaladas no campo, e posteriormente as amostras analisadas por cromatografia gasosa (N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) no laboratório. Não houve diferença significativa no fluxo de CH<sub>4</sub> mediante os efeitos da mudança no uso da terra em campos agrícolas de soja ( $0,23 \pm 0,08$  mg-C/m<sup>2</sup>/h), pastagens ( $0,31 \pm 0,18$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) e capoeira ( $0,42 \pm 0,17$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) no entorno da BR-163 e da PA-370. Encontrou-se diferença estatística entre o fluxo de N<sub>2</sub>O relacionado ao tipo de cobertura do solo, onde o fluxo de capoeira ( $19,57 \pm 0,76$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) foi menor que o da pastagem ( $36,81 \pm 1,84$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) e agricultura ( $40,08 \pm 1,30$  mg-N/m<sup>2</sup>/h). Houve diferença entre os fluxos de CH<sub>4</sub> encontrados na soja em sistema de plantio direto ( $0,29 \pm 0,11$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) em relação ao sistema de plantio convencional ( $0,11 \pm 0,07$  mg-C/m<sup>2</sup>/h); também se encontrou diferença no fluxo de N<sub>2</sub>O do plantio direto ( $40,7 \pm 10,7$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) que foi maior que o plantio convencional ( $38,8 \pm 10,7$  mg-N/m<sup>2</sup>/h). Frente às mudanças no uso da terra cada vez mais frequentes, há a necessidade de intervir visando reduzir as emissões desses gases ou aumentar seus sumidouros.

**Palavras – Chave:** gases traço, metano, óxido nitroso, mudança no uso da terra, efeito estufa.

SANTOS, Fabiane Campos. **Trocas gasosas de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará.** 2012. 60p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Processos de Interação Biosfera - Atmosfera. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA, Santarém, 2012

## ABSTRACT

The change of use and soil management is occurring in a dynamic and intensive, especially in the Amazon region, which can result in source or sink of greenhouse gases into the atmosphere. This study aimed to quantify gas exchange of methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from soil and atmosphere in different types of coverage, and examine environmental variables regulating gas exchange in the areas sampled. These measurements were made using cameras installed in the field, and then the samples analyzed by gas chromatography (N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) in the laboratory. There was no significant difference in the flow of CH<sub>4</sub> by the effects of changing land use in agricultural fields of soybeans ( $0,23 \pm 0,08$  mg-C/m<sup>2</sup>/h), pasture ( $0,31 \pm 0,18$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) and poultry ( $0,42 \pm 0,17$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) surrounding the BR-163 and PA-370. Statistical difference was found between the flow of N<sub>2</sub>O related to the type of ground cover, where the flow of poultry ( $19,57 \pm 0,76$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) was lower than the pasture ( $36,81 \pm 1,84$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) and agriculture ( $40,08 \pm 1,30$  mg-N/m<sup>2</sup>/h). Difference between CH<sub>4</sub> fluxes found in soybeans in no-tillage ( $0,29 \pm 0,11$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) compared to conventional tillage ( $0,11 \pm 0,07$  mg-C/m<sup>2</sup>/h) also found differences in N<sub>2</sub>O flux of tillage ( $40,7 \pm 10,7$  mg-N/m<sup>2</sup>/h) that was higher than the conventional tillage ( $38,8 \pm 10,7$  mg-N/m<sup>2</sup>/h). Faced with changes in land use increasingly common, there is a need to intervene to reduce greenhouse gas emissions or enhance their sinks.

**Keywords:** trace gases, methane, nitrous oxide, land use change, greenhouse effect.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.2.1 Efeito Estufa e o Aquecimento global.....	4
1.2.2 Interações entre solo e atmosfera.....	6
1.2.3 Mudança no uso do solo .....	8
1.2.4 Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	10
1.2.5 Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) .....	13
1.2.6 Cromatografia gasosa .....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 HIPÓTESES .....	18
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1 Local de pesquisa.....	18
2.2 Desenho amostral .....	20
2.3 Sistema de amostragem .....	21
2.4 Outras variáveis .....	23
2.5 Determinação do fluxo .....	24
2.6 Análises estatísticas .....	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
3.1 Umidade do solo.....	25
3.2 Temperatura do ar e do solo .....	25
3.3 Fluxo de Metano.....	29
3.4 Fluxo de Óxido Nitroso .....	34
4 CONCLUSÃO.....	40
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Especificação das microbacias de estudo e seus respectivos transectos.....	20
<b>Tabela 2:</b> Umidade relativa do solo nos diferentes usos da terra.....	25
<b>Tabela 3:</b> Fluxo médio de metano ( $\text{mg-C/m}^2/\text{hr}$ ) para os diferentes sistemas de agricultura..	31
<b>Tabela 4:</b> Análise de variância para comparar os três tipos de uso da terra em relação ao $\text{CH}_4$ .....	31
<b>Tabela 5:</b> Fluxo médio de óxido nitroso ( $\text{mg-N/m}^2/\text{hr}$ ) para as diferentes coletas durante o ciclo da soja em diferentes áreas.....	34
<b>Tabela 6:</b> Fluxo médio de óxido nitroso ( $\text{mg-N/m}^2/\text{h}$ ) para os sistemas nas áreas de agricultura.....	35
<b>Tabela 7:</b> Fluxo médio de óxido nitroso ( $\text{mg-N/m}^2/\text{hr}$ ) para as áreas de capoeira.....	36
<b>Tabela 8:</b> Fluxo médio de óxido nitroso ( $\text{mg-N/m}^2/\text{hr}$ ) para as áreas de capoeira.....	36
<b>Tabela 9:</b> Fluxo médio de óxido nitroso ( $\text{mg-N/m}^2/\text{hr}$ ) para as diferentes áreas.....	36

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Efeito do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre ao longo do tempo. Adaptado de Cerri et al. (2007).....	05
<b>Figura 2-</b> Padrão de emissão de gases do efeito estufa a nível global e no Brasil. Adaptado de Cerri et al.(2007).....	06
<b>Figura 3-</b> Contribuições de fontes para emissão total de metano, fontes antropogênicas (a) e fontes naturais (b). Adaptado de Khalil (2000).....	12
<b>Figura 4-</b> Componentes básicos de um cromatógrafo a gás. Adaptado de Bonato (2006).....	17
<b>Figura 5-</b> Localização das áreas estudadas.....	19
<b>Figura 6-</b> Desenho amostral da pesquisa.....	21
<b>Figura 7-</b> Representação esquemática da distribuição das câmaras para medidas de fluxo de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O nos transectos do projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.....	21
<b>Figura 8-</b> Foto A mostra a câmara, B seringa usada para coleta dos gases, C régua para medir a altura da câmara e termômetro para verificar a temperatura do solo, D sistema cromatográfico.....	22
<b>Figura 9:</b> Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.05.2011).....	26
<b>Figura 10:</b> Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio convencional B112T1b durante o período de avaliação (18.12.2010 a 16.05.2011).....	26
<b>Figura 11:</b> Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B119T9 durante o período de avaliação (11.11.2010 a 14.06.2011).....	27
<b>Figura 12:</b> Temperatura média do ar nas áreas de capoeira e pastagem.....	27
<b>Figura 13:</b> Temperatura média do solo na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.....	28
<b>Figura 14:</b> Temperatura média do solo na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.05.2011).....	28
<b>Figura 15:</b> Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B129T9 durante o período de avaliação (11.11.2010 a 15.06.2011).....	29
<b>Figura 16:</b> Medidas de fluxos de metano no decorrer das coletas na área de agricultura B112T1.....	30
<b>Figura 17:</b> Medidas de fluxos de metano no decorrer das coletas na área de agricultura B119T9.....	30

<b>Figura 18:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH <sub>4</sub> na área de agricultura B112T1.....	32
<b>Figura 19:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH <sub>4</sub> na área de capoeira.....	33
<b>Figura 20:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH <sub>4</sub> na área de pastagem.....	33
<b>Figura 21:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N <sub>2</sub> O na área de agricultura B112T1.....	37
<b>Figura 22:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N <sub>2</sub> O na área de agricultura B129T9.....	37
<b>Figura 23:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N <sub>2</sub> O na área de capoeira.....	38
<b>Figura 24:</b> Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N <sub>2</sub> O na área de pastagem.....	38
<b>Figura 25:</b> Correlação entre fluxo de N <sub>2</sub> O e WFPS do solo na área de agricultura.....	39
<b>Figura 26:</b> Correlação entre fluxo de N <sub>2</sub> O e WFPS do solo na área de agricultura B129T9.....	39

## 1 INTRODUÇÃO

O desmatamento nos trópicos têm atingido taxas de até 2% da área, anualmente (WILLIAMS, 1990; MEYERS, 1991). Essas áreas desmatadas são convertidas principalmente em plantações e pastagens, ocorrendo principalmente nos trópicos (HECKL, 1992). As mudanças no uso da terra provocam um aumento das concentrações de gases radiativamente ativos na troposfera (HOUGHTON, 1991; CRUTZEN e ANDREAE, 1990).

O tema que tem despertado grande preocupação mundial é o aumento na concentração dos gases do efeito estufa, entre eles o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o metano ( $CH_4$ ). Esses aumentos são devidos principalmente a ações antropogênicas, seja de forma direta pelo aumento do uso de combustíveis fósseis, aumento da poluição industrial, aumento das queimadas, ou indiretamente pelo uso irracional dos recursos naturais (CARDOSO, et al., 2001). Atividades antropogênicas representam 64 e 24% das emissões globais anuais de  $CH_4$  e  $N_2O$ , respectivamente (DUXBURY et al., 1993). A agricultura e abertura de áreas agrícolas contam por 65 e 90% do total de emissões antropogênicas de  $CH_4$  e  $N_2O$ , respectivamente (DUXBURY et al., 1993).

O  $CH_4$  tem no solo sua produção e comportamento controlado pela quantidade de água no solo e pela textura, podendo ser fonte ou dreno. O consumo microbiano desse gás ocorre em condições de solos bem aerados e sob condições de anaerobiose ocorre a produção microbiana desse gás (CRILL, 1991; STEUDLER et al., 1989). Solos de florestas tropicais são sumidouros de  $CH_4$ , contudo, quando transformados em campo agrícolas, capoeiras ou pastagem, a compactação resultante de manejo inadequado o torna uma fonte devido à redução de taxas de difusão, que favorece condições de anaerobiose, produzindo  $CH_4$  (KELLER et al., 1990, 1993).

O  $N_2O$  é um importante gás de efeito estufa devido às propriedades espectrais da molécula e seu longo tempo de residência na atmosfera, aproximadamente 150 anos (RODHE, 1990), além disso, também está envolvido na química do ozônio ( $O_3$ ) (CICERONE, 1987). A concentração atmosférica de  $N_2O$  aumentou a taxas entre 0.25 – 0.31% ao ano e apresenta um potencial de aquecimento global 310 vezes maior que o do  $CO_2$ . Solos tropicais são considerados grandes emissores naturais de  $N_2O$  para a atmosfera, a mudança no uso da terra pode fazer com que este compartimento deixe de ser dreno e passe a ser fonte ou vice-versa (SOUSA NETO, 2008).

Na Amazônia, a abertura de novas áreas agrícolas e a utilização de fertilizantes nitrogenados associadas à prática de manejo pouco sustentáveis das áreas trabalhadas são responsáveis pela grande emissão de gases traço associados ao aquecimento global. Estima-se que as áreas submetidas ao desmatamento e a prática de queima de biomassa esteja em torno de 250.000 km<sup>2</sup> (LAURANCE et al., 2004). Juntamente com o distúrbio causado pela abertura dessas áreas, modificando os processos biogeoquímicos e alterando a função ecológica desempenhada pelo ecossistema na sua forma natural, acrescenta-se ao problema a introdução de espécies agrícolas, entre elas a soja, que naturalmente fixam nitrogênio no solo, em termos globais esse processo contribui com 65% da fixação anual de N (CARDOSO et al., 2001).

Adições de fertilizantes contendo nitrogênio (N) na forma de amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou deposição atmosférica que reduzem o consumo de CH<sub>4</sub>, pode modificar os solos de floresta tropical convertendo sua função de sumidouro para fonte (STEUDLER et al., 1989; MOSIER et al., 1991). Esse processo é importante em florestas tropicais que originalmente funcionam como sumidouros para CH<sub>4</sub>, mas que podem ter sua função alterada devido às mudanças causada pela emissão de compostos nitrogenados de áreas agrícolas em regiões próximas de florestas.

Entender como os processos e os controles ambientais variam entre florestas nativas, áreas agrícolas, capoeira e pastagem são cruciais para identificar os fatores que podem contribuir para o desenvolvimento de usos do solo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Uma das maiores inquietações sobre a crise ambiental atual são as inúmeras evidências de mudança climática global, cujos efeitos podem atingir a humanidade de forma prejudicial, porém diferenciada, devido, principalmente as especificidades de cada ambiente. Prevê-se que os impactos negativos serão graves no mundo todo, mas deverão ser particularmente desastrosos para os países com menos recursos e as populações mais vulneráveis.

Atualmente, com a expansão da fronteira agrícola na Amazônia, torna-se necessário avaliar as mudanças ocorridas sobre os processos naturais e determinar o impacto dessa nova forma de mudança no uso da terra em áreas naturais adjacentes a esses recentes campos

agrícolas. Dados de literatura para a região Amazônica são extremamente limitados e a variabilidade de condições edáficas e de clima é muito extensa, exigindo maiores esforços na tentativa de se entender como ocorrem essas alterações dentro da região.

Vários cenários de impacto se alternam dentro da região e, por conseguinte, alteram também os processos e as taxas nas quais eles ocorrem. Dentro da região Oeste do Estado do Pará, uma frente de expansão agrícola se estabelece, na qual, a soja é precedida pela pastagem ou pela plantação de arroz, as áreas sobre pastos degradados são preteridas em relação a áreas de floresta uma vez que o custo do processo de limpeza é inexistente ou muito baixo. Devido às áreas serem pobres em nutrientes alguns espaços são abandonados formando as chamadas capoeiras. Dessa maneira quatro principais coberturas de solo se sobressaem na região, a saber: floresta primária, pastagem, área agrícola e capoeira. Poucos estudos são realizados na tentativa de se avaliar o impacto causado nas áreas antropizadas e o seu efeito nas áreas naturais próximas a esses novos polos de produção. As práticas de manejo empregadas na área (queima de biomassa) e a utilização de fertilizantes nitrogenados saturam áreas agrícolas tornando-as fontes de gases radiativamente ativos contendo nitrogênio ( $N_2O$ ) e que apresentam importante papel na química da atmosfera ( $NO$ ,  $NO_2$ ).

Alguns estudos já foram realizados nos municípios de Santarém e Belterra com fluxo de gases, porém em áreas específicas, sem avaliar diferentes usos da terra, entre eles estão os trabalhos de Davidson et al. (2004 e 2008), Keller et al. (2005) e Sampaio et al. (2006).

Estudo realizado por Sampaio et al (2006) sobre fluxo de metano em áreas de floresta tropical, e áreas de cultivo de soja e arroz, demonstraram que o fluxo no sítio de floresta foi quantitativamente maior do que o fluxo médio dos sítios de plantação de arroz e soja, e que não foi encontrada diferenças no fluxo de metano da plantação de arroz e da plantação de soja. Porém, os solos de todos os sítios pesquisados apresentaram um domínio do consumo de metano sobre a produção, resultando em um fluxo negativo; a umidade e a temperatura do solo não foram eficientes controladores do fluxo de metano.

Em área de floresta (Floresta Nacional do Tapajós), o experimento Seca floresta buscou entender os possíveis efeitos das mudanças da precipitação sobre o fluxo de gases, os dados demonstraram que nas condições mais secas do solo ocorreu inibição do  $N_2O$  e aumento das taxas de consumo de  $CH_4$  na atmosfera (DAVIDSON et al., 2004).

Segundo Keller et al. (2005) em experimento em áreas de floresta intacta e floresta manejada (FLONA - TAPAJÓS, Km 83 da BR-163) demonstraram que a primeira área funcionou como um dreno de  $CH_4$ , já na área perturbada ocorreu maior emissão de  $CH_4$  e a emissão de  $N_2O$  foi de 30 a 350% maior que na floresta não perturbada.

Os dados depois de 6 anos do projeto seca floresta (sendo 4 anos de exclusão de precipitação, 1 ano de seca natural e 1 ano de recuperação com precipitação natural) a manipulação da exclusão baixou as emissões anuais de  $N_2O$  e depois se recuperou durante o primeiro ano após o tratamento seca parado. Da mesma forma, o consumo de  $CH_4$  na atmosfera aumentou em tratamento seca, exceto durante um ano de seca natural, e também recuperou para valores pré-tratamento durante o primeiro ano em que foram retirados os painéis que interceptavam a chuva. Este experimento demonstrou que as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  dos solos da floresta amazônica são sensíveis às mudanças do clima (DAVIDSON et al, 2008).

Solos representam fontes ou sumidouros importantes para óxido nitroso ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), e suas condições físicas, químicas e biológicas controlam as trocas gasosas com a atmosfera. As formas de manejo empregadas alteram as condições de solo, transformando sumidouros em fontes e agravando ainda mais o impacto dessas áreas de produção na concentração de gases de efeito estufa presentes na atmosfera. Contudo, esses impactos não são pontuais e podem alterar processos em ambientes naturais próximos, alterando também a função ecológica desses ambientes (poluição por deposição de compostos contendo N). Esses impactos precisam ser avaliados e determinados à extensão desses danos nas áreas submetidas à mudança no uso da terra e regiões sob vegetação nativa.

O estabelecimento de manejo e exploração sustentável para a Amazônia é de vital importância às questões relativas ao modo como uma intervenção antropogênica afeta a capacidade básica de auto renovação. Presume-se que a alteração de ciclos como o do carbono e do nitrogênio, da água, da energia solar e de nutriente, resultantes da mudança na cobertura do solo possa acarretar consequências climáticas a nível local, regional e global. Afim de, entender essas consequências e atenuar seus efeitos negativos, se torna necessário um melhor entendimento das alterações no fluxo de metano e óxido nitroso quando as áreas de floresta são convertidas para outras formas de uso da terra.

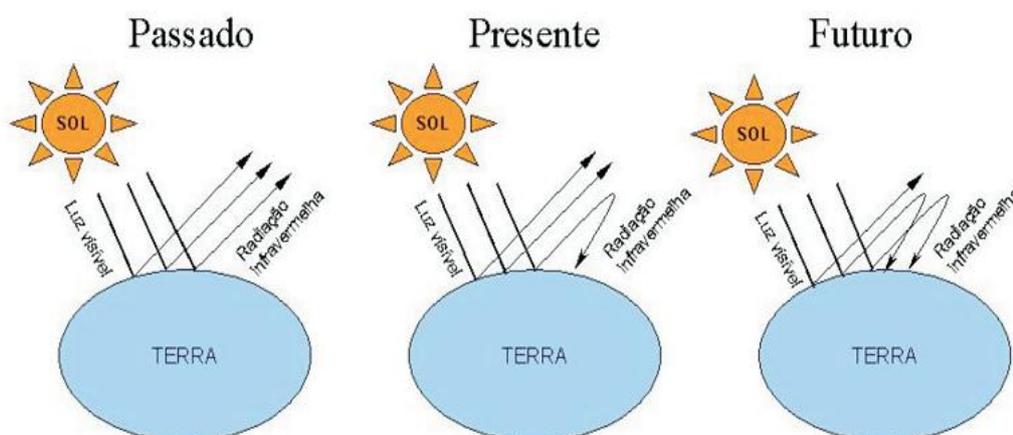
## **1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.2.1 Efeito Estufa e o Aquecimento global**

O efeito estufa é um fenômeno físico que acontece naturalmente, no qual, parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes

na atmosfera. Como consequência disso, o calor fica retido, não sendo liberado para o espaço. A radiação terrestre e as concentrações de gases do efeito estufa resultam na intensificação do efeito que naturalmente já se processa na atmosfera da Terra há bilhões de anos. Entre os principais gases formadores do efeito estufa, distribuídos na atmosfera encontram-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (OSTERMAYER, 2004). Sem esses gases, a radiação infravermelha térmica solar absorvida pela Terra se dissiparia no espaço e a superfície do nosso planeta seria aproximadamente  $33^\circ\text{C}$  mais fria do que é hoje.

A velocidade e intensidade com que estão ocorrendo mudanças no sistema climático da Terra, desde a Revolução Industrial, é que tem sido objeto de preocupação de cientistas e líderes mundiais, principalmente nas últimas décadas. Esse aumento contínuo de gases na atmosfera apresenta como consequência, maior interação com a radiação infravermelha emitida pela Terra, e consequentemente aumento da temperatura do ar atmosférico (Figura 1). Esse aumento é o que se denomina de Aquecimento Global, que tem reflexos nas mudanças climáticas, tais como distribuição irregular das chuvas, aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera, elevação do nível do mar, entre outros (CERRI et al., 2007).



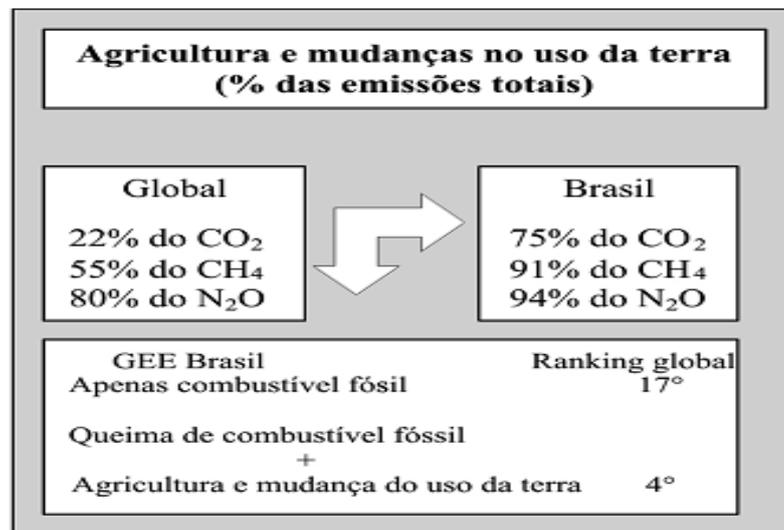
**Figura 1:** Efeito do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre ao longo do tempo. Adaptado de Cerri et al. (2007).

Segundo estimativas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, estima-se um aumento de  $1,8^\circ\text{C}$  na temperatura média do planeta até o final do século (IPCC, 2007). As consequências deste aquecimento são preocupantes no que se refere à qualidade de vida e sustentabilidade ambiental e agrícola a longo prazo.

A ocupação de grandes áreas de solo, e mudanças no uso dos solos têm o potencial de afetar a capacidade de sequestro e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) da Terra e, assim, contribuir para a alteração da concentração do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  na atmosfera. Desta

forma, os impactos das alterações climáticas podem agravar os efeitos do aquecimento e aumento desses gases, pois a agricultura tem um papel importante na sustentabilidade futura e, sobretudo em ações de mitigação das alterações climáticas (CARDOSO, et al.,2001).

O Brasil está situado em 17º lugar na classificação mundial dos países emissores de GEE, se não levarmos em consideração o desmatamento. Se considerarmos essa atividade passamos a ocupar o 4º lugar (Figura 2), pois a mudança no uso da terra é a principal responsável por este aumento de emissão, que representa cerca de 91% de CH<sub>4</sub> e 94% de N<sub>2</sub>O (CERRI et. al., 2007).



**Figura 2:** Padrão de emissão de gases do efeito estufa a nível global e no Brasil. Adaptado de Cerri et al.(2007).

A concentração atmosférica global de metano aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb para 1.732 ppb no início da década de 90, alcançado 1.774 ppb em 2005. O aumento observado na concentração de metano deve se principalmente as atividades antrópicas, em especial a agricultura e o uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

Em relação ao óxido nitroso a sua concentração atmosférica aumentou de 270 ppb no período pré-industrial para 319 ppb em 2005. Mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópico destacando se a agricultura (IPCC, 2007).

### 1.2.2 Interações entre solo e atmosfera

A superfície terrestre nos trópicos e a atmosfera formam um sistema fortemente acoplado, nos quais os fluxos de superfície definem as entradas e saídas de água e energia na baixa atmosfera, e dependem principalmente da oferta de radiação, umidade do solo e evapotranspiração, da cobertura vegetal, nebulosidade, além das propriedades dinâmicas e

termodinâmicas da camada limite planetária (SCHLESINGER, 1997). O desmatamento e as alterações no uso da terra modificam as interações físico-químicas entre o solo, a vegetação e a atmosfera.

O uso e a cobertura do solo têm um papel fundamental no delineamento do ambiente em escalas global, regional e local. Mudanças no uso e cobertura do solo influenciam a diversidade biológica, o clima e os ciclos biogeoquímicos e da água. A mudança de áreas de floresta em áreas agrícolas pode resultar em aumentos da temperatura do solo, da erosão, e em modificações do balanço hídrico e na disponibilidade de nutrientes (FEARNSIDE e BARBOSA, 1998).

Os fluxos de metano e óxido nitroso do solo para a atmosfera dependem da razão entre produção e consumo, e da difusão do gás no solo. A produção e emissão desses gases em solos de áreas nativas ou alteradas, são resultantes da atividade microbiológica de decomposição e mineralização da matéria orgânica, além dos fatores ambientais como temperatura, umidade e do uso da terra. Os ciclos do carbono e nitrogênio são influenciados diretamente pelo processo de decomposição da matéria orgânica do solo, alterando a dinâmica desses elementos (BAGGS, 2006).

Os solos são um importante reservatório de carbono ativo e orgânico, e desempenham um importante papel no ciclo do carbono global. A agricultura tem sido responsável por perdas significativas de carbono pelo solo, através de práticas agrícolas de baixa sustentabilidade ambiental. Entre essas práticas citam-se a aração excessiva, gradeação e desmatamentos, expondo os solos a processos de erosão e compactação, e, por conseguinte à redução dos níveis de matéria orgânica no solo. Além disso, fatores como a fertilização inadequada, a queima de restos culturais e o cultivo intensivo das terras, contribuem para o aumento dessas perdas. Em contraste, práticas agrícolas que restauram a capacidade dos solos como reservatório de carbono incluem: reflorestamento, cultivo de culturas perenes, uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, pastagens bem manejadas, agrofloresta e práticas de conservação do solo (EMBRAPA, 1999).

Estima-se que a quantidade de C estocada no solo até um metro de profundidade esteja em torno de 1.576 Pg, distribuídos em 12,8 bilhões de hectares, nos continentes, o que equivale a cerca de três vezes a quantidade de C no reservatório biótico e duas vezes a quantidade contida na atmosfera terrestre. Quando se consideram apenas os 30 cm superficiais de solo, o estoque de C está em torno de 800 Pg, ou seja, quase a mesma quantidade armazenada no compartimento atmosférico. Estima-se que a metade do C estocado no solo –

cerca de 787 Pg – seja referente aos solos sob florestas, enquanto as áreas sob pastagens contêm cerca de 500 Pg, e as sob cultivo agrícola, 170 Pg de C (CERRI et al., 2006a).

### 1.2.3 Mudança no uso do solo

A magnitude e a importância relativa das diferentes fontes e emissões de gases traços variam muito de uma região para outra. Em termos globais as emissões agrícolas de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) aumentaram 17% entre 1990 e 2005, e deverão crescer outros 35-60% até 2030; as contribuições atuais de  $\text{N}_2\text{O}$  são de aproximadamente 80 % da emissão total e de  $\text{CH}_4$  aproximadamente 50 % (IPCC, 2007), devido principalmente à intensificação dos processos produtivos e em alguns casos pelo preparo intensivo do solo e baixo aporte de resíduos depositados no solo; e também pela abertura de áreas nativas que são convertidas a sistemas produtivos, diminuindo assim os estoques de matéria orgânica do solo; bem como o uso crescente dos fertilizantes à base de nitrogênio e do aumento dos rebanhos.

No Brasil a mudança de uso e manejo da terra vem ocorrendo de forma dinâmica e com elevada intensidade, sobretudo no bioma Amazônico, o que pode resultar em fonte ou dreno de GEE para a atmosfera. Áreas sobre vegetação nativa estão sendo ocupadas por pastagem e agricultura que emitem quantidades consideráveis de gases, principalmente devido ao desmatamento e queima da biomassa (MARENGO, 2007). A maior parte das emissões de metano provém de extensas áreas de pastagem, e a suplementação alimentar de gado a pasto com proteínas é frequentemente um fator limitante para grande parte das propriedades rurais; nas quais as pastagens consorciadas ricas em proteínas podem vir a ser uma opção.

Na Amazônia, a mudança do uso da terra é dominada em cerca de 90% pelas conversões de floresta para pastagens de gado. As florestas secundárias derivadas da agricultura (cultivo itinerante) crescem muito mais rápido do que as florestas em pastagens abandonadas. Esse rápido crescimento de áreas de repouso após cultivo é responsável por parte do sequestro de carbono atmosférico naquela região (FEARNSIDE e BARBOSA, 1998). Ainda existe muita incerteza sobre as taxas de crescimento de florestas secundárias, e isto tem dificultado o estabelecimento de valores de fixação de carbono atribuídos a essas comunidades vegetais.

De acordo com Fearnside e Barbosa (1998), 45 % das áreas desmatadas na Amazônia estão sob pastagens, correspondendo a uma área de 24,7 Mha, essas áreas podem sequestrar C no solo (pastagem bem manejada) ou emitir (pastagem degradada) para a atmosfera, dependendo do manejo adotado, aproximadamente 3,5 Tg C ano<sup>-1</sup>. Contudo, apesar da conversão de floresta para pastagem bem manejada resultar em aumentos do estoque de C do

solo, é importante ressaltar a importância da vegetação nativa no que se refere ao sequestro de C no sistema solo-planta-atmosfera; sem esquecer também que a conversão de floresta em pastagens também emite para atmosfera carbono, devido ao processo de desmatamento e queima da biomassa aérea.

Segundo estimativas de Cerri et al. (2006b), a floresta amazônica brasileira teria um potencial de seqüestrar C da ordem de 421 a 470 Tg ano<sup>-1</sup>; desse total, cerca de 30 % (126 a 141 Tg ano<sup>-1</sup> de C) seria acumulado pelo solo, e os 70 % restantes (295 a 329 Tg ano<sup>-1</sup> de C), devido à biomassa aérea. As previsões mostram que se as taxas de desflorestamento da floresta amazônica continuar a persistirem, as emissões de gases a partir dessa atividade aumentarão, ainda que grandes áreas de florestas secundárias (em processo de regeneração) venham a substituir as florestas primárias.

A pecuária produz uma ampla variedade de impactos, que vão desde as emissões diretas pelos rebanhos, passando pelo manuseio do adubo, uso de agroquímicos e mudanças no padrão de uso da terra, até o uso de combustíveis fósseis. A fermentação entérica contribui com cerca de 60%, ou seja, com a maior parte das emissões globais de metano. A demanda por carne determina o número de animais a serem mantidos em criação. Além disso, a pecuária é o setor que mais utiliza terras, havendo uma mudança nas práticas de criação, do pasto tradicional para lavouras destinadas à alimentação do gado. Recentemente, o uso de cultivares de alto valor energético incentivou o desmatamento da floresta amazônica brasileira, um dos grandes produtores de soja para alimentação animal. A demanda por carne vem aumentando de modo constante, estimulada pelo crescimento econômico, e provavelmente irá incentivar a expansão da pecuária intensiva (EMBRAPA, 1999).

Na agricultura o uso de diferentes manejos pode interferir na emissão dos gases do efeito estufa. Sistemas de manejo que apresentam altas concentrações de resíduos vegetais na superfície, maior adensamento superficial (agricultura mecanizada) e maior atividade biológica, como os solos sob sistema de plantio direto (SPD) apresentam condições mais propícias para emissão de N<sub>2</sub>O. As emissões em Latossolos em diferentes rotações de culturas apresentaram valores muito baixos tanto no SPD quanto no plantio convencional (PC) (JANTALIA et al., 2008). Em outro estudo feito na Região Sul do país, Jantalia et al. (2006) avaliaram a emissão de N<sub>2</sub>O durante dois anos consecutivos nas cidades de Passo Fundo-RS e Londrina-PR e notaram que os maiores fluxos se concentraram nos períodos de chuvas mais intensas, normalmente observados nos meses de verão, desde que coincidentes com a época de adubação nitrogenada.

Gomes (2006), estudando as emissões de N<sub>2</sub>O em um Argissolo Vermelho, verificou que após o manejo das culturas de inverno, ervilhaca e aveia, os fluxos foram maiores, independentemente do sistema de preparo do solo, plantio direto (PD) ou convencional (PC). Sendo que os maiores picos foram encontrados na rotação ervilhaca/milho. No solo sob PD e sob PC, as emissões pós-manejo da ervilhaca alcançaram fluxos até 2,7 vezes maiores do que no sistema com aveia preta, o que pode ser explicado pela rápida decomposição da palhada de ervilhaca, que possui baixa relação carbono: nitrogênio (C: N), aproximadamente 14.

## 1.2.4 Metano (CH<sub>4</sub>)

### 1.2.4.1 Vias metanogênicas

O metano é produzido sobre condições de anaerobiose por meio de vias metanogênicas. A metanogênese é a etapa final do processo de degradação anaeróbia. As bactérias metanogênicas apresentam a maior diversidade morfológica entre todos os grupos responsáveis pelo processo anaeróbio, e degradam apenas um número limitado de substratos com baixo número de carbonos, dentre eles, o ácido acético, o hidrogênio/dióxido de carbono, o ácido fórmico, o metanol, as metilaminas e o monóxido de carbono (SCHLESINGER, 1997).

Na formação do metano duas vias metanogênicas se destacam: a fermentação do acetado e redução do dióxido de carbono.

Na primeira via, devido à ausência de oxigênio, ocorre à clivagem do ácido acético, no qual o metil é reduzido a metano, e o grupo carboxílico é oxidado a gás carbônico, conforme a equação 1.



Com a disponibilidade de hidrogênio (meio ácido), as bactérias produzem metano por meio da redução do dióxido de carbono, onde este atua como aceptor do átomo de hidrogênio (Equação 2).



Sabe-se hoje que existe produção de metano em condições aeróbicas, o primeiro a demonstrar isso foi Keppler et al. (2006) usando folhas vivas e mortas durante experimentos de incubação em laboratórios e no campo.

#### **1.2.4.2 Participação do metano na física e química da atmosfera**

Em relação aos gases do efeito estufa na troposfera, o metano ocupa o terceiro lugar, em comparação ao vapor de água e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A adição de metano à atmosfera contribui de maneira muito mais efetiva para o efeito estufa do que a adição de uma mesma quantidade em massa ou número de moléculas de dióxido de carbono (WUEBBLES e HAYHOE, 2002).

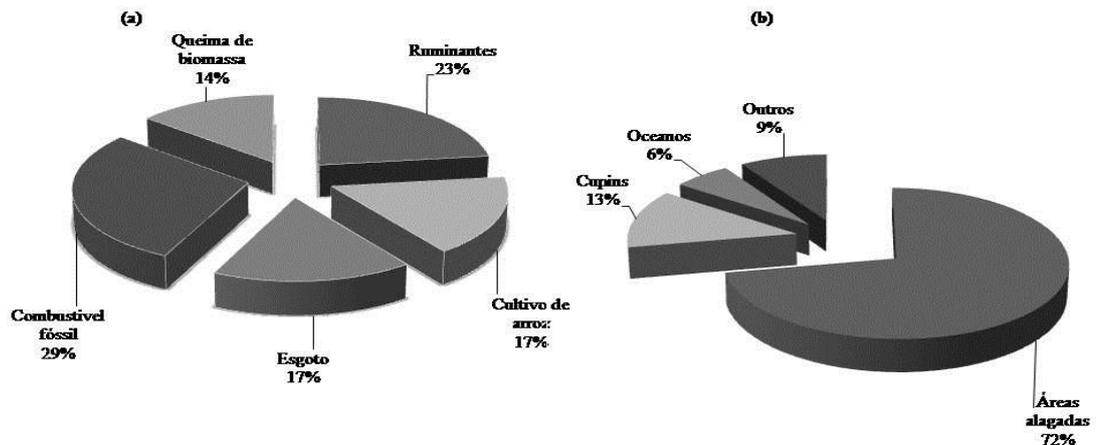
Em termos químicos, a adição de um mol de  $\text{CH}_4$  na atmosfera é aproximadamente 24 vezes mais efetiva na absorção de radiação infravermelha do que um mol de  $\text{CO}_2$ . Por sua vez, em termos de massa, a adição na atmosfera de 1 kg de metano tem um efeito estufa sobre o clima 66 vezes mais potente que um quilograma de  $\text{CO}_2$ . Em contrapartida o tempo de vida do  $\text{CO}_2$  na atmosfera seja da ordem de 50 a 200 anos, sendo bem maior que o tempo de vida do metano que é cerca de 12 anos (IPCC, 1996).

O metano ganhou destaque mundial a partir da década de 70, com algumas descobertas: a primeira em 1976 revelou o metano como um GEE significativo na atmosfera, capaz de absorver algumas frequências de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre; a segunda descoberta foi o gelo retirado na Groenlândia e Antártida, na qual a análise do núcleo demonstrou o aumento acelerado da concentração do  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  a partir da revolução industrial; outro fato foi à associação entre o aquecimento climático e o aumento nos níveis de metano (SCHMIDT, 2004).

#### **1.2.4.3 Fontes e sumidouros**

A tendência da concentração do metano na atmosfera é determinada pelo balanço entre suas fontes e sumidouros, responsáveis pela sua razão de crescimento.

O metano tem uma grande variedade de fontes, sejam elas naturais ou antropogênicas (Figura 3). As emissões antropogênicas são provenientes da agricultura e de depósitos de lixo, incluindo cultivo de arroz irrigado, fermentação entérica, resíduos de origem animal e humano, queima de biomassa, aterros de lixo e extração de combustíveis fósseis do tipo petróleo, gás natural ou carvão (IPCC, 2007). Com relação às fontes naturais, pode-se citar terras alagadas, colônias de cupins, animais ruminantes, oceanos e hidratos de metano (VIEIRA et al., 2008).



**Figura 3:** Contribuições de fontes para emissão total de metano, fontes antropogênicas (a) e fontes naturais (b). Adaptado de Khalil (2000).

O metano ocorre naturalmente, por exemplo, em terras alagadas (várzeas naturais) as emissões, em consequência da maior atividade microbiana tendem a aumentar com o aquecimento global, cuja concentração na atmosfera está crescendo em decorrência das atividades humanas (RIBEIRO, 2003).

Estimativas indicam que as emissões provenientes de atividade humana têm uma grande contribuição no total de metano emitido para a atmosfera, incluindo fontes biogênicas com uma produção da ordem de  $275 \text{ Tg ano}^{-1}$  e emissões relacionadas a combustíveis fósseis com cerca de  $103 \text{ Tg ano}^{-1}$ , enquanto que o total das fontes naturais é de aproximadamente  $160 \text{ Tg ano}^{-1}$ , perfazendo um total geral de aproximadamente  $535 \text{ Tg ano}^{-1}$  (IPCC, 1996).

Inúmeros fatores são responsáveis pela magnitude das fontes de metano, tais como a população humana, a energia usada no meio, o rendimento das culturas, práticas agrícolas, mudança no uso da terra, temperatura, precipitação e outras possíveis influências naturais ou antropogênicas ainda não bem explicadas (WUEBBLES e HAYHOE, 2002). Mas a maioria dos cenários demonstra alterações significativas no futuro, uma vez que as concentrações de metano são projetadas para continuar a subir até o próximo século.

Em contraste com as inúmeras fontes existem poucos sumidouros de metano. Por reações químicas, o principal processo de remoção do metano é a reação com o radical hidroxila (OH) (equação 3). A adição de metano à atmosfera reduz a concentração de radicais hidroxila na troposfera, que podem então produzir um feedback e reduzir a taxa de remoção do metano. Contudo existe um declínio na concentração do radical hidroxila desde o período

pré-industrial até a atualidade, em média de 10 a 30% devido ao aumento de monóxido de carbono na atmosfera, uma vez que este radical oxida a hidroxila (RIBEIRO,2003).



O solo pode ser um sumidouro de metano, mas isso irá depender do seu uso e como o mesmo é manejado, Carmo et al. (2007) observaram a existência do consumo de metano, e não emissão para a atmosfera, em solos como os da Floresta de Mata Atlântica, e o transporte para a estratosfera, onde o metano pode ser removido por reações com o átomo de cloro (Cl) ou oxidado pelo OH<sup>-</sup>.

## 1.2.5 Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

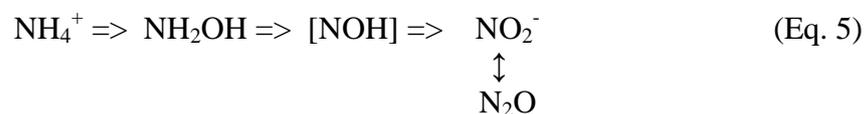
### 1.2.5.1 Vias de formação de óxido nitroso

Processos biológicos são responsáveis por aproximadamente 90% da produção global de N<sub>2</sub>O. No solo, a produção desse gás é, sobretudo, consequência das transformações do N, nos processos de nitrificação e desnitrificação (YAMAGUCHI et al., 1994). Estes processos são influenciados pela temperatura do solo, umidade e disponibilidade de oxigênio, disponibilidade de substrato (nitrogênio), bem como disponibilidade de carbono. No entanto, todos estes fatores respondem à influência do clima, da vegetação, das propriedades do solo (tais como teor de matéria orgânica, pH, densidade e teor de argila), e do sistema de manejo empregado na gestão de uso da terra (aplicação de fertilizantes e esterco, plantio, irrigação, a compactação, e colheita).

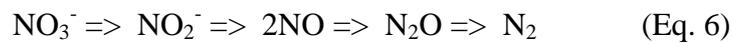
A nitrificação requer condições aeróbias e está diretamente relacionada ao suprimento de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, é mediada principalmente por bactérias autotróficas. A nitrificação ocorre em duas etapas, conforme a (Equação 4). Na primeira, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é convertido em NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. E na segunda etapa, o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por bactérias do gênero Nitrobacter (COSTA et al., 2009).



Durante a oxidação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, pode haver pequena produção de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por dismutação química do nitroxil (NOH) ou por ação da redutase de nitrito (Equação 5).



A desnitrificação, que ocorre em condições anaeróbias, é realizada por bactérias heterotróficas anaeróbias facultativas, as quais dependem da disponibilidade de carbono orgânico e de nitrato. Essas biotransformações do N podem ocorrer concomitantemente no solo, no interior de um agregado, por exemplo, onde podem desenvolver-se zonas de aerobiose e anaerobiose (FARQUHARSON e BALDOCK, 2008). O N<sub>2</sub>O representa a etapa intermediária no processo de desnitrificação, pois ainda pode ser reduzido a N<sub>2</sub>. Conseqüentemente, pode-se dizer que o N<sub>2</sub>O tem apenas uma existência transitória no solo (COSTA et al., 2009). A Equação 6 descreve o processo de desnitrificação.



A intensidade desses processos microbianos pode ser afetada por meio da adição de C e N ao solo, com destaque para a adubação nitrogenada, tanto orgânica como mineral, influenciando dessa forma a magnitude e a variação temporal das emissões de N<sub>2</sub>O do solo (COSTA et al., 2009). Apesar da produção de N<sub>2</sub>O por ambos os processos, a grande maioria dos estudos tem evidenciado que o processo de desnitrificação é mais efetivo na produção desse gás (GOMES, 2006).

#### 1.2.5.2 Participação do óxido nitroso na atmosfera

Dentre os gases do efeito estufa, destaque pode ser dado ao óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) devido a sua elevada capacidade de aquecimento e seu tempo de permanência na atmosfera que são determinados pela sua conformação molecular. Esse gás possui um potencial de aquecimento global de 296 a 310 vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007), e sua concentração atmosférica tem aumentado, principalmente nas últimas décadas, a uma taxa de 0,25% ao ano (KAISER et al., 1998).

O aumento das adições de fertilizantes nitrogenados aos solos agrícolas tem sido indicado como principal responsável pela crescente emissão de N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Outras fontes antrópicas desse gás incluem: o nitrogênio proveniente de dejetos de animais; a fixação biológica de nitrogênio e a mineralização da matéria orgânica através do cultivo de solos orgânicos (KAISER et al., 1998).

#### 1.2.5.3 Fontes e sumidouros

Processos que ocorrem na superfície terrestre é a principal fonte de N<sub>2</sub>O para a atmosfera, sendo assim, mudanças no uso da terra podem modificar os níveis das emissões e

influenciar suas concentrações na atmosfera. Segundo o IPCC (2001) as emissões deste gás têm sido estimadas em  $14 \text{ Tg N ano}^{-1}$ , contribuindo aproximadamente com 5% do efeito estufa, sendo que as atividades antropogênicas causaram aumento na faixa de  $1,91 \text{ Tg N}_2\text{O}$  a  $2,86 \text{ Tg N}_2\text{O}$ .

As principais fontes antrópicas são agricultura, queima de biomassa, pecuária e vários processos industriais. As fontes naturais de  $\text{N}_2\text{O}$  são estimadas em aproximadamente  $10 \text{ Tg N ano}^{-1}$ , com os solos participando com cerca de 65% e os oceanos com cerca de 30%. As principais fontes são as indústrias químicas, o desmatamento e as práticas agrícolas. Essas fontes antropogênicas têm as suas emissões estimadas em aproximadamente  $7 \text{ Tg N ano}^{-1}$  (Ribeiro,2003). As emissões do solo são resultado do uso de fertilizantes nitrogenados, fixação biológica de nitrogênio, adição de dejetos animais e incorporação de resíduos culturais (LIMA, 2000).

O aumento desse gás deve-se principalmente as atividades antrópicas, como o desmatamento, o uso de combustíveis fósseis, a queima de biomassa, entre outras atividades que passaram a contribuir significativamente para o aquecimento global a partir do início da revolução industrial no século XIX (IPCC, 2007), caracterizando o efeito estufa antropogênico.

É estimado que 80% das emissões mundiais desse gás estejam ligadas à agricultura e a mudanças no uso da terra, sendo que no Brasil esse índice pode ultrapassar 94% (CERRI e CERRI, 2007). Na Amazônia, as taxas de entradas de nitrogênio de origem humana são baixas, mas se a conversão de florestas naturais em pastagens ou florestas secundárias continuarem será uma região com potencial em adicionar significativa quantidade de nitrogênio, dada a vasta área da região. A maior densidade do solo reduz a difusão de  $\text{O}_2$  em períodos de chuvas e favorece a geração de  $\text{N}_2\text{O}$  (BALL et al., 1999).

Apesar das inúmeras fontes o  $\text{N}_2\text{O}$  possui apenas um sumidouro: a estratosfera. Na estratosfera, a concentração do óxido nitroso diminui com a altura, estabelecendo um gradiente vertical na sua taxa de mistura. Uma fração de  $\text{N}_2\text{O}$  emitido na superfície sofre decomposição, principalmente por fotólise ultravioleta, ou seja, decomposição pela luz do sol (MARINHO, 1993). A Equação 7 demonstra a fotólise do  $\text{N}_2\text{O}$ .

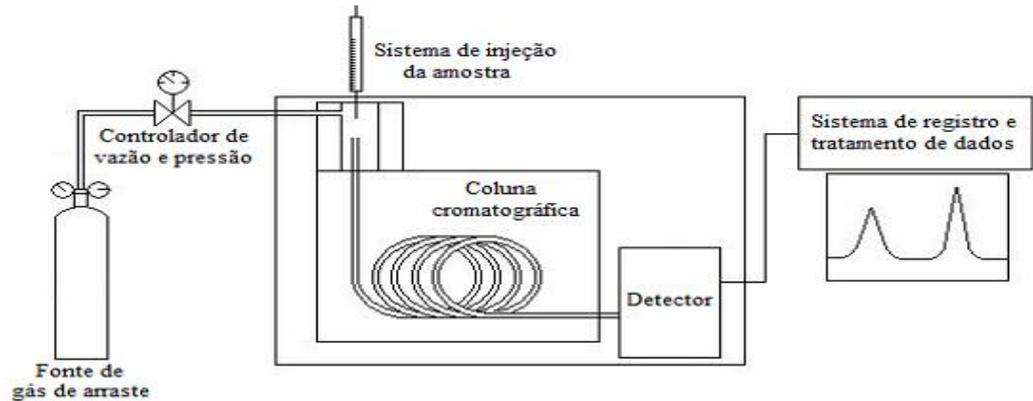


### 1.2.6 Cromatografia gasosa

A amostragem de compostos gasosos pode ser realizada de dois modos: com concentração, a partir do uso de materiais absorventes ou adsorventes; ou sem concentração, no qual as amostras são coletadas em câmaras estáticas abertas ou fechadas ou diretamente em seringas plásticas ou recipientes de vidros pré-evacuados. As campânulas (câmaras ou cúpulas) estáticas fechadas são as mais utilizadas em trabalhos de coletas de GEE, por serem ferramentas de fácil construção e baratas, que podem ser usadas nas diferentes regiões do mundo, tanto nos estudos de emissão em solos (COSTA et al., 2006) quanto em superfícies líquidas. Devem ser elaboradas com materiais não reativos, tais como polipropileno (BALL et al., 1999), aço inoxidável, alumínio, PVC ou polietileno, necessitando ser de cor branca ou coberta com material refletor a fim de evitar ao máximo as perturbações na temperatura interna. Suas dimensões, bem como o material de construção, não são padronizadas, porém sua estrutura tem de causar o mínimo possível de perturbações no local de instalação (COSTA et al., 2006).

A cromatografia gasosa (CG) é o método analítico utilizado na maioria das determinações da concentração de metano e de dióxido de carbono, por ser considerada uma ferramenta de grande precisão, sensibilidade e linearidade. Pode ser definida como um processo físico-químico de separação, baseado na diferença de distribuição dos componentes presentes na amostra entre uma fase estacionária e uma fase móvel (MARANI, 2007). No qual, a fase estacionária (sólida ou líquida) ocorre dentro de um tubo longo denominado de coluna cromatográfica e a fase móvel é sempre um gás (BONATO, 2006).

O esquema básico de um cromatógrafo a gás é mostrado na Figura 4. Composto por um cilindro contendo um gás sob alta pressão, que serve como fonte de gás de arraste, responsável pela condução das substâncias presentes na amostra para fora da coluna; controlador de pressão e vazão, para vazão de gás de arraste constante durante as análises, que permita a reprodutibilidade nos tempos de retenção; sistema de injeção de amostra, comumente realizada através de seringas ou de válvulas; coluna cromatográfica, caracterizada por um tubo longo contendo a fase estacionária, do tipo recheada ou capilares; o sistema de detecção, o qual recebe as substâncias separadas na coluna cromatográfica e gera um sinal; e o sistema de registro e tratamento de dados, encarregado de registrar graficamente o sinal emitido através do detector, por meio de integradores ou microcomputadores acoplados ao detector, fornecendo os cromatogramas, tempos de retenção e áreas ou alturas de cada pico e o cálculo das concentrações.



**Figura 4:** Componentes básicos de um cromatógrafo a gás. Adaptado de Bonato (2006).

Na pesquisa para a quantificação do óxido nítrico, é usado o detector por captura de elétrons (ECD) neste detector há uma fonte de radiação beta em corrente constante. O gás de arraste passa com uma amostra onde há substituição de um elétron por um íon negativo, o que diminui a corrente elétrica. O gás de arraste com a amostra é comparado com o gás de arraste puro (corrente de fundo), que quanto maior seu valor maior é a sensibilidade do detector.

Os detectores de ionização em chamas (FID) são bastantes populares devido aos seus níveis de detecção e resposta quase universal para a medição de metano. Baseados na ionização das moléculas da amostra, presentes no gás de arraste, ao atingirem o detector onde são queimadas, em uma chama produzida pela combustão do ar e hidrogênio.

O cromatógrafo gasoso é calibrado antes do início das análises, para isso são utilizados três padrões em diferentes concentrações para o estabelecimento das curvas de calibração, a precisão da análise esta sendo dada pelos desvios da concentração dos padrões cujo valor máximo tolerado e de 5%.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

- Avaliar a influência da conversão de áreas em diferentes usos da terra sobre os fluxos de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nos municípios de Belterra e Santarém, Pará.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar e verificar a variação dos fluxos de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nas coletas realizadas em áreas agrícolas, pastagens e capoeiras;

- Comparar o fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo entre plantio direto e plantio convencional em área agrícola;
- Verificar a influência de fatores ambientais sobre os fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

## **1.4 HIPÓTESES**

- A mudança de cobertura e uso do solo interfere no fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O ao nível da paisagem;
- Não haverá diferença entre plantio direto e plantio convencional, ambos manejados sob o mesmo sistema de rotação de cultura;
- Os fatores ambientais influenciarão a variabilidade nos valores do fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local de pesquisa**

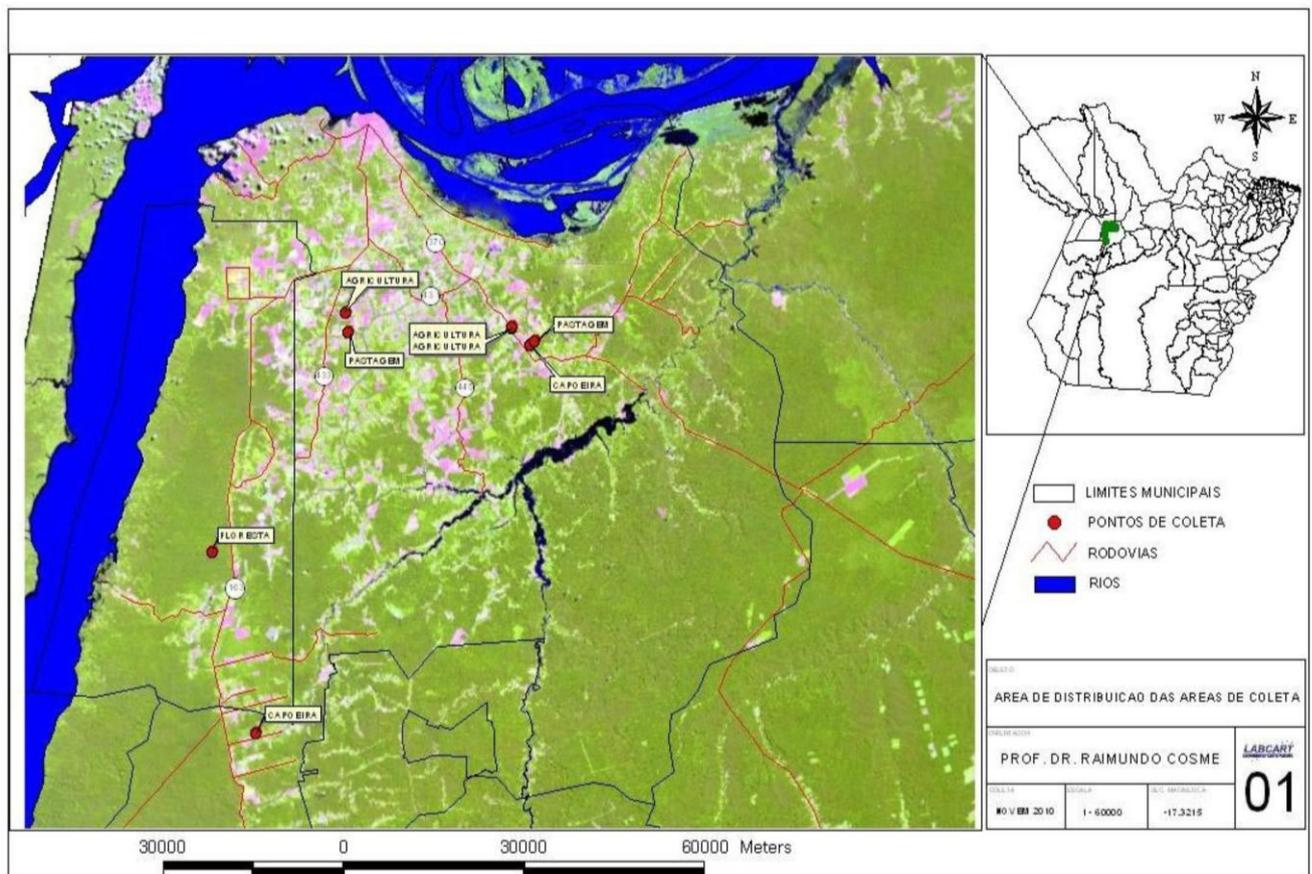
As áreas de estudo estão localizadas no Estado do Pará, especificamente na região conhecida como Oeste do Pará, nas cidades de Belterra e de Santarém. De acordo com IBAMA (2004), o clima da região é do tipo Ami (classificação de Köppen). O solo predominante nesta região é o Latossolo, que ocorre em relevo plano a suavemente ondulado e sua textura pode variar de arenosa a muito argilosa (MORAES et al., 1995).

Na cidade de Belterra a temperatura média anual varia de 25 a 28 °C, com umidade relativa média do ar de 86% durante quase todos os meses do ano. A precipitação total anual deste município é de 1909 mm, sendo a média mensal no período mais seco de 62,5 mm e 770 mm de média no período mais chuvoso de fevereiro a junho (INMET, 2010).

Em termos de temperatura do ar, Santarém apresenta uma pequena variabilidade anual estando às médias oscilando entre 25,4 °C e 27,1 °C. Os valores de umidade relativa do ar são elevados durante o ano todo, sendo a média de 86,7 %. O elemento meteorológico que apresenta maior variabilidade anual é a precipitação pluvial, sendo esta região caracterizada por apresentar dois períodos bem distintos: um chuvoso, que vai de dezembro a maio e outro menos chuvoso, que se estende de julho a novembro. Os valores médios anuais oscilam em torno de 1920 mm (INMET, 2010).

Este trabalho faz parte do projeto “Sustentabilidade dos Usos da Terra na Amazônia”, coordenado pelos pesquisadores Joice Ferreira e Toby Garden, que tem como tema central o entendimento e previsão de respostas da biodiversidade a mudanças ambientais. As áreas do entorno de Santarém (microbacias) foram selecionadas em função da facilidade de acesso, parceria com os produtores locais e da cobertura florestal remanescente. Essas áreas formam um gradiente de intensificação de uso da terra incorporando quatro diferentes usos da terra (floresta, capoeira, área de agricultura e pastagem).

O estudo foi conduzido em 3 das microbacias (B112, B129 e B357) do projeto “Sustentabilidade dos Usos da Terra na Amazônia”, selecionou-se áreas de capoeira, pastagem e agricultura localizadas no entorno da BR-163 e da PA-370. Foram amostrados sete transectos (sítios) no total inseridos nas microbacias, sendo três sob uso agrícola (cultura de soja, sendo 2 em plantio convencional e 1 em plantio direto), dois sob pastagem, dois sob capoeira (Figura 5 e Tabela 1).



**Figura 5:** Localização das áreas estudadas.

**Tabela 1:** Especificação das microbacias de estudo e seus respectivos transectos.

<b>Microbacia</b>	<b>Transecto</b>	<b>Uso da terra</b>
<b>112</b>	1	Campo agrícola (plantio direto)
	1b	Campo agrícola (plantio convencional)
	3	Capoeira
	7	Pastagem ativa
<b>129</b>	9	Campo agrícola Plantio direto
	7	Pastagem ativa
<b>357</b>	3	Capoeira

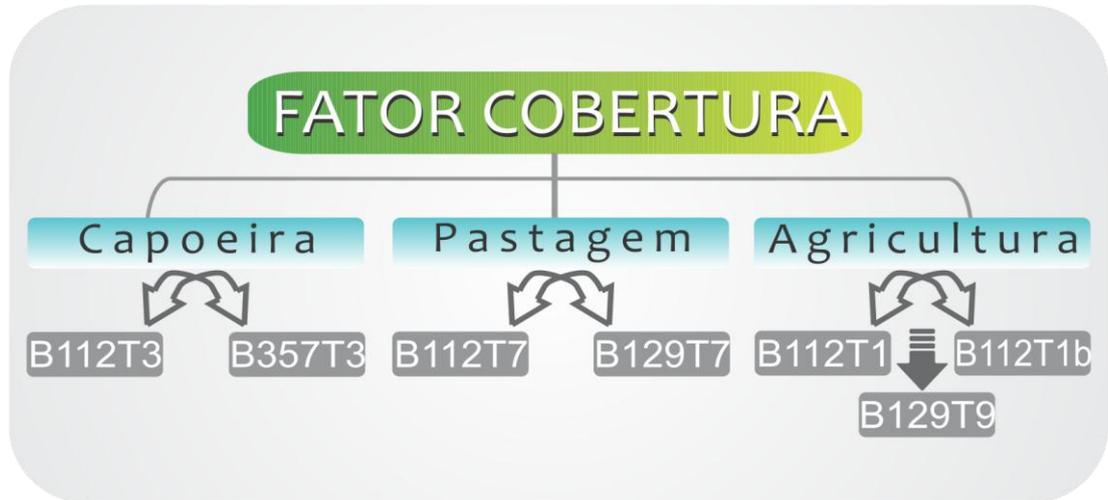
Em conversa com os proprietários das áreas foi possível traçar um histórico referente as áreas, com relação ao campo agrícola em sistema de plantio direto ocorre a rotação de culturas soja e milho, o campo agrícola em sistema convencional já é utilizado por volta de 10 anos com cultivo de soja, as pastagens estão ativas sendo manejadas de acordo com índices técnicos da pecuária, as áreas de capoeira se encontram com aproximadamente 15 anos.

Para as áreas de capoeira e pastagem foram feitas duas coletas em cada sítio com 9 repetições em cada transecto, compreendendo o período chuvoso, sendo representado pelos meses fevereiro, março e abril de 2011.

Nas áreas de agricultura o acompanhamento foi mais detalhado levando-se em consideração o ciclo da cultura, com o intuito tanto de fazer a comparação entre plantio direto e plantio convencional, como a sequencia da cultura da soja, isso possibilitou a coleta de dados antes do plantio, no plantio, semana após o plantio (período intermediário) e na colheita. Na área B112T1 (soja em plantio direto) foram feitas 12 coletas, na área B112T1b (soja em plantio convencional) 10 coletas e na área B129T9 (soja em plantio direto) 8 coletas, essas coletas compreenderam os meses de dezembro de 2010 a junho de 2012.

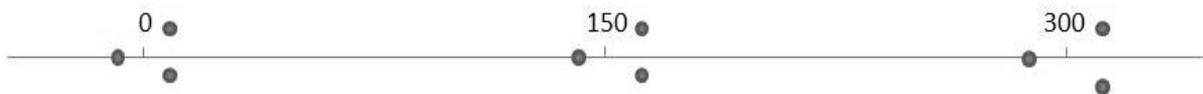
## **2.2 Desenho amostral**

O desenho amostral da pesquisa é baseado na pergunta: Qual o efeito da cobertura vegetal no fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O na interface biosfera – atmosfera? (Figura 6).



**Figura 6:** Desenho amostral da pesquisa.

Para as medidas de fluxo de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nos sítios de pastagem, capoeira e sob uso agrícola com cultivo de soja, foi estabelecido um transecto em cada área. O transecto é uma reta de 300m de comprimento (Figura 7), formada por três pontos (0, 150 e 300), onde em cada ponto foram instaladas três câmaras para a medida de fluxo de gases. Essas câmaras foram instaladas a aproximadamente 5m de distância do ponto principal, totalizando 9 câmaras por transecto.



**Figura 7:** Representação esquemática da distribuição das câmaras para medidas de fluxo de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nos transectos do projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.

### 2.3 Sistema de amostragem

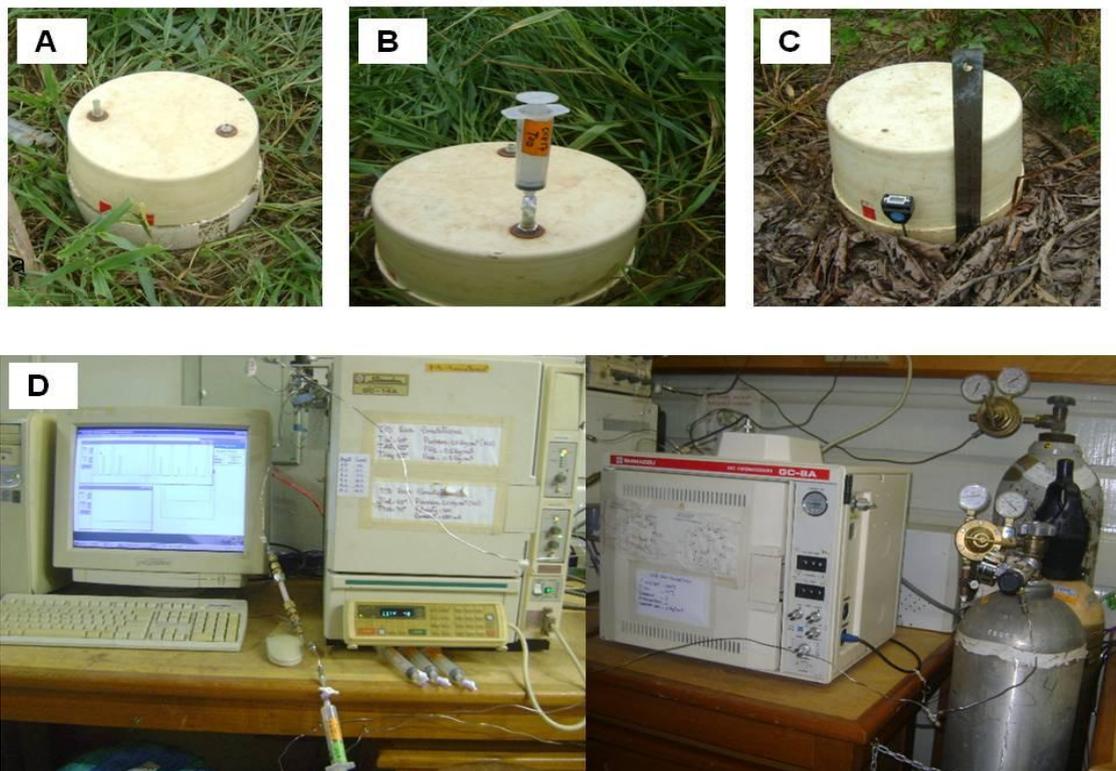
Os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  foram coletados por meio de câmaras de concentração utilizadas manualmente. As amostras de gás do solo são coletadas em intervalos de 1 a 30 minutos em seringas de nylon de 20 mL. A câmara fechada restringe a passagem de ar liberado do solo para a atmosfera, as medidas então demonstram as mudanças de concentrações do gás, num intervalo de tempo.

O material usado na construção de câmaras é o cloreto de polivinil (PVC), tendo como vantagens seu baixo custo, facilidade de manuseio, menor aquecimento devido a coloração branca e boa durabilidade no campo, essa câmara é de formato cilíndrico com 22cm de altura por 25 de diâmetro. A face superior da câmara possui dois orifícios vedados com rolha de

silicone, um dos orifícios é atravessado por uma agulha hipodérmica acoplada a uma válvula de polipropileno (utilizado para a retirada da amostra) o outro orifício esta ligado a um tubo de borracha (serve para manter a pressão interna da câmara igual a atmosférica).

Assenta-se a câmara de PVC sobre o anel, para proporcionar a vedação da câmara estática. Em seguida se coletava a primeira amostra de ar (tempo 1), a 1 minuto para tanto, se utilizou uma seringa de polipropileno de 20 mL equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída, essa primeira amostra representa a concentração atmosférica no momento da amostragem (Figura 8). A segunda amostra (tempo 10) foi coletada 10 minutos após, utilizando-se o mesmo tipo de seringa. A terceira (tempo 20) e a quarta (tempo 30) amostras foram coletadas aos 20 e 30 minutos, respectivamente, seguindo-se o mesmo procedimento para as demais amostras. Para garantir homogeneização do ar dentro da câmara, antes de cada amostragem, o ar da câmara é aspirado e injetado pela seringa por três vezes.

As amostras de gás foram transportadas para o laboratório da Embrapa em Santarém onde foram analisadas por cromatografia gasosa (GC) num intervalo de 36 horas após a coleta (Figura 8).



**Figura 8:** Foto A mostra a câmara, B seringa usada para coleta dos gases, C régua para medir a altura da câmara e termômetro para verificar a temperatura do solo, D sistema cromatográfico.

## 2.4 Outras variáveis

Para as medidas de temperatura do solo, foi utilizado um termômetro digital da marca Taylor que foi introduzido no solo a profundidade de 2 cm, ao lado de cada uma das câmaras. O mesmo sensor é usado para fazer a leitura da temperatura do ar a sombra no momento da amostragem dos gases; paralelo a isso foi feita medidas de altura para cada câmara com auxílio de régua.

Do interior das câmaras retiraram-se amostras de solo a 10 cm de profundidade que foram acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados e posteriormente conduzidos ao laboratório de Química da Universidade do Oeste do Pará, para pesagem. As amostras foram pesadas em uma balança de precisão para obter o peso úmido de cada amostra de solo. Para obtenção de peso seco foi utilizado o método de secagem em estufa a 105 °C por 48 horas resultando na umidade gravimétrica do solo, ou seja, o percentual de água no solo que é dado pela equação 8.

$$\text{Umidade (\%)} = (P_u - P_s) / (P_s) * 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde  $P_u$  = Peso úmido do solo

$P_s$  = Peso seco do solo

Os espaços porosos do solo preenchidos por água (water filled por espace- WFPS) foi calculado a partir da densidade global do solo ( $d_g$ ), da densidade das partículas ( $d_p$ ) e do teor de água no solo ( $u$ ), segundo as equações 9, 10 e 11.

$$\theta (\%) = (u \cdot d_g) * 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\alpha (\%) = (1 - (d_g / d_p)) * 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{WFPS (\%)} = (\alpha / \theta) * 100 \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

$\theta$  = umidade do solo (%)

$\alpha$  = espaço poroso do solo (%)

$d_g$  = densidade global do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$d_p$  = densidade das partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$u$  = teor de água no solo (%)

## 2.5 Determinação do fluxo

O fluxo foi calculado pela taxa de mudança de concentração com base na primeira lei de Fick (Equação 12):

$$F = p (V/A) (dC/dt) \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: **F** é o fluxo de metano emitido na superfície do solo, **p** a densidade do ar ajustada á temperatura do ar no momento da amostragem, **V** o volume interno da câmara acima da superfície do solo, **A**, área superficial do solo encoberta pela câmara, e **dC/dt** a inclinação da curva de variação de concentração do gás em função do tempo.

A densidade do ar será calculada segundo a equação 13:

$$p = P / c * T \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde: **c** é a constante universal dos gases ( $0,083 \text{ l.atm.mol}^{-1}.\text{k}^{-1}$ ), **T** temperatura do ar em Kelvin, **P** a pressão total em atm.

Fatores ambientais que regulam as taxas de troca gasosa entre solo e atmosfera foram coletados, medidos e correlacionados com os fluxos obtidos. Entre essas variáveis está a textura do solo (argiloso ou arenoso), temperatura e a quantidade de água no solo.

## 2.6 Análises estatísticas

Os testes estatístico foram realizados através do software Statitica 7. Para testar a normalidade dos dados de fluxos de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , temperatura, umidade e WFPS, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnoff. Em seguida foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e posteriormente submetidos ao teste de Tukey (5%) para a determinação das diferenças entre as médias dos fluxos.

Com o intuito de saber se existe relação entre o fluxo de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  com as demais variáveis, temperatura, umidade e WFPS, foram utilizadas análises de regressão linear (Equação 14). A significância foi determinada ao nível de 95%.

$$Y = ax + b \quad (\text{Eq. 14})$$

Y=fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

x= variáveis (temperatura do ar, temperatura do solo, WFPS)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Umidade do solo

Os valores de umidade do solo nas três áreas agrícolas amostradas não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ), o mesmo ocorreu para as áreas de capoeira e pastagem. Os valores de umidade do solo foram significativamente ( $p < 0,05$ ) maiores na área de capoeira em relação a área de agricultura e pastagem que também se diferenciaram entre si ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2).

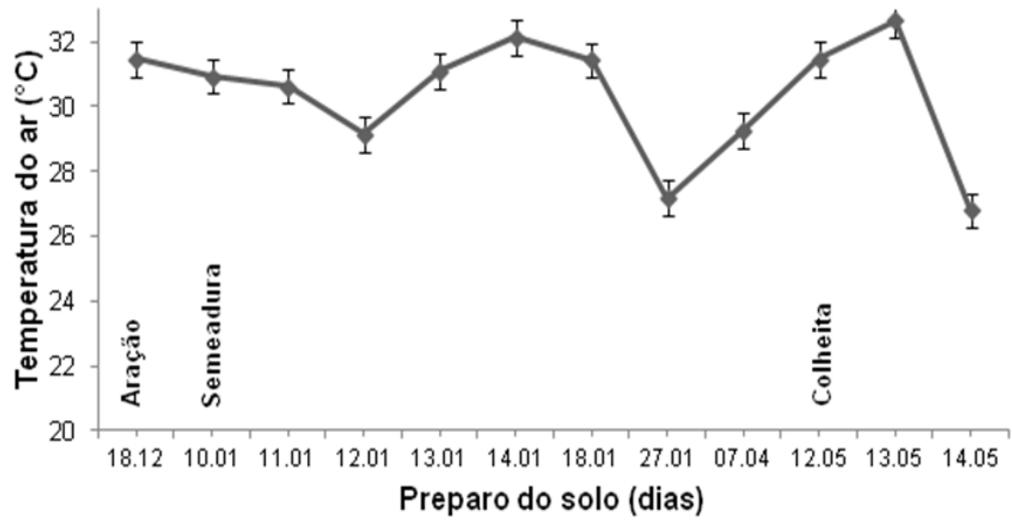
**Tabela 2:** Umidade relativa do solo nos diferentes usos da terra.

Tratamento	Umidade(%)	Erro padrão
Agricultura	30,8 <sup>a</sup>	0,6
Pastagem	20,4 <sup>b</sup>	2,3
Capoeira	46,3 <sup>c</sup>	2,2

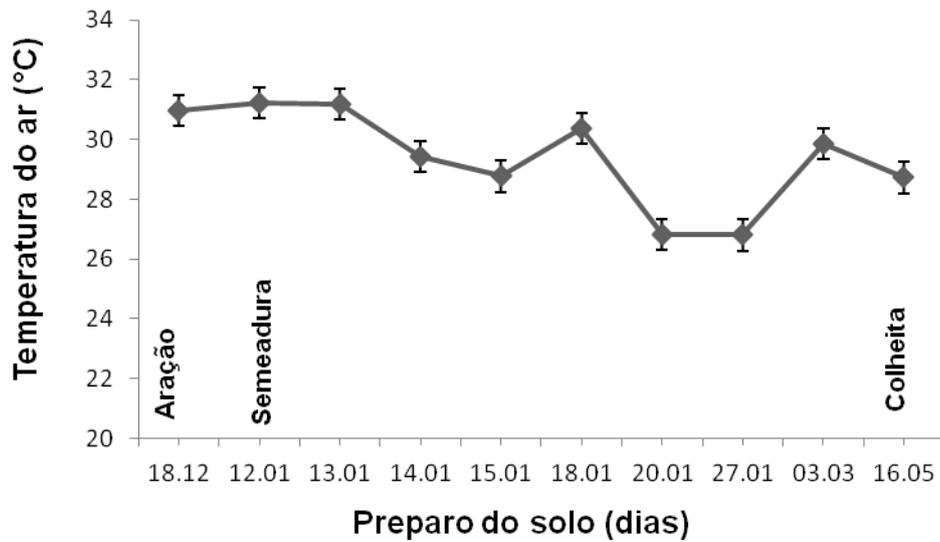
Médias de umidade seguidas por letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

#### 3.2 Temperatura do ar e do solo

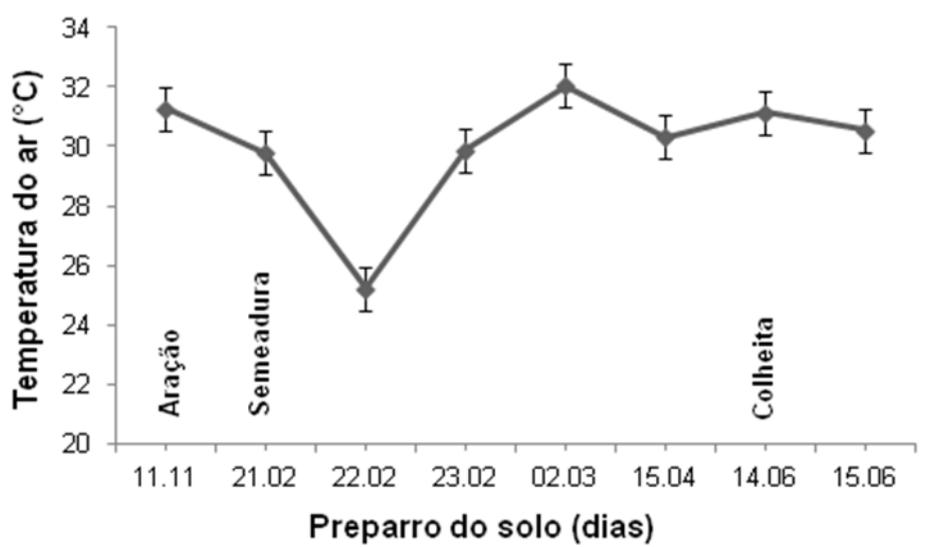
As temperaturas do ar para os transectos de agricultura amostradas (B112T1, B112T1b e B129T9) não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ) (Figura 9, 10, 11). O mesmo resultado foi encontrado quando se comparou os transectos da pastagem (B112T7 e B129T7) e de capoeira (B112T3 e B357T3).



**Figura 9:** Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.05.2011).

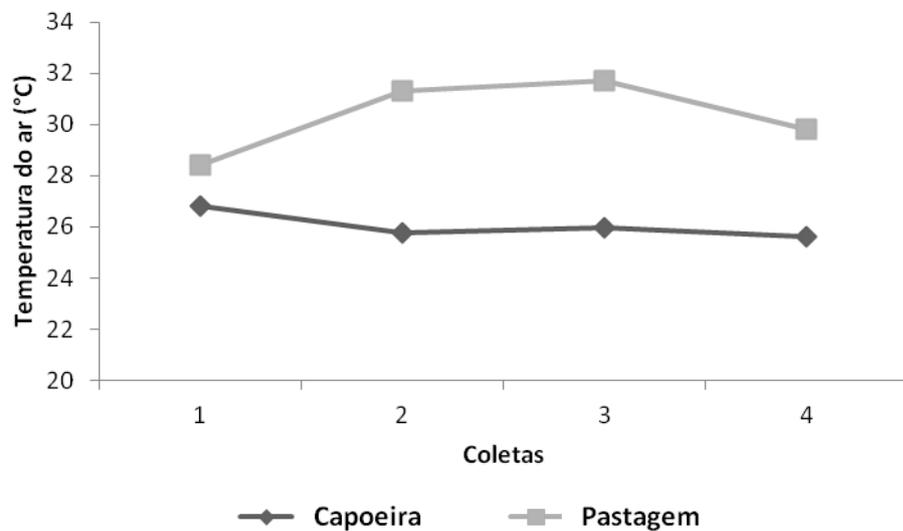


**Figura 10:** Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio convencional B112T1b durante o período de avaliação (18.12.2010 a 16.05.2011).



**Figura 11:** Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B119T9 durante o período de avaliação (11.11.2010 a 14.06.2011).

Quando se comparou a temperatura do ar da área de capoeira com a de pastagem (Figura 12), se encontrou diferenças significativas entre si ( $p < 0,05$ ).

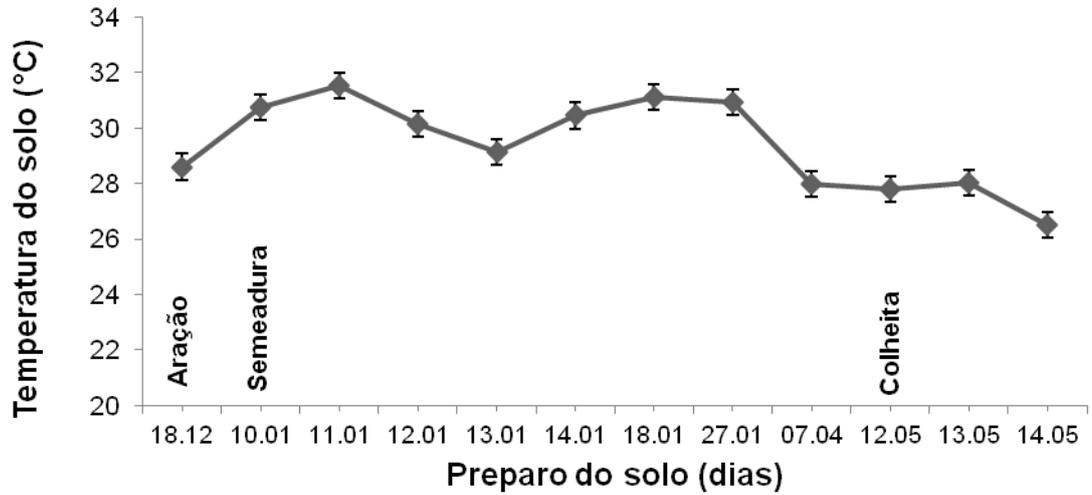


**Figura 12:** Temperatura média do ar nas áreas de capoeira e pastagem.

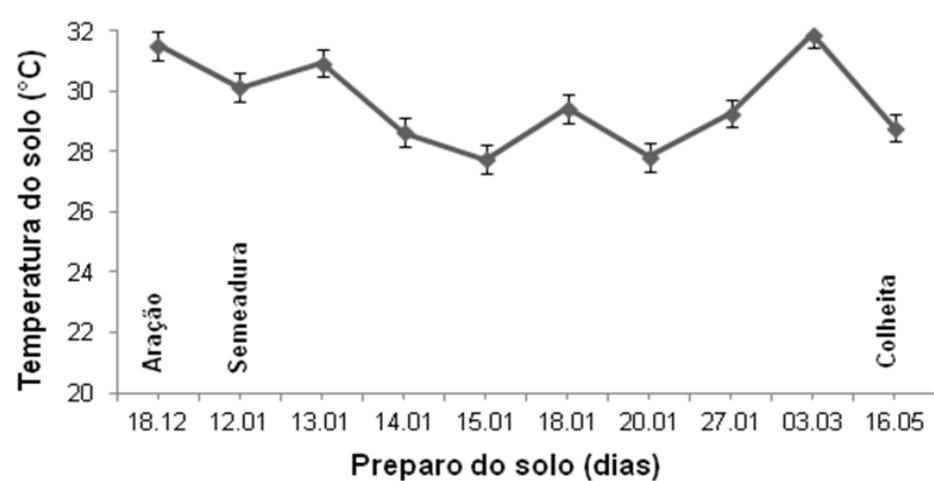
Comparando-se a área de agricultura, pastagem e capoeira, as temperaturas do ar na capoeira foram estatisticamente menores ( $p < 0,05$ ) que as demais. Os valores médios encontrados foram de 29,9 °C ( $\pm 0,4$ ) na agricultura, 26,0 °C ( $\pm 0,2$ ) na capoeira e 30,3 °C ( $\pm 0,7$ ) na pastagem.

Analisando os três transectos da Agricultura (Figura 13, 14 e 15), os valores de temperatura do solo foram significativamente ( $p < 0,05$ ) menores na área de coleta B129T9 em relação às outras áreas que não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ); ressalta-se que a

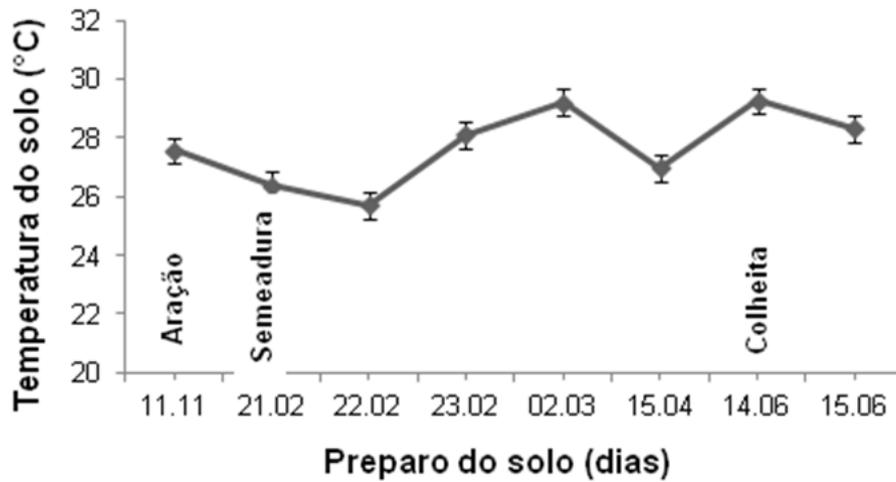
área B112T1 e B112T1b, além de pertencerem a mesma microbacia, especialmente se encontram bem próximas.



**Figura 13:** Temperatura média do solo na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.05.2011).



**Figura 14:** Temperatura média do solo na área de agricultura de plantio direto B112T1 durante o período de avaliação (18.12.2010 a 14.05.2011).

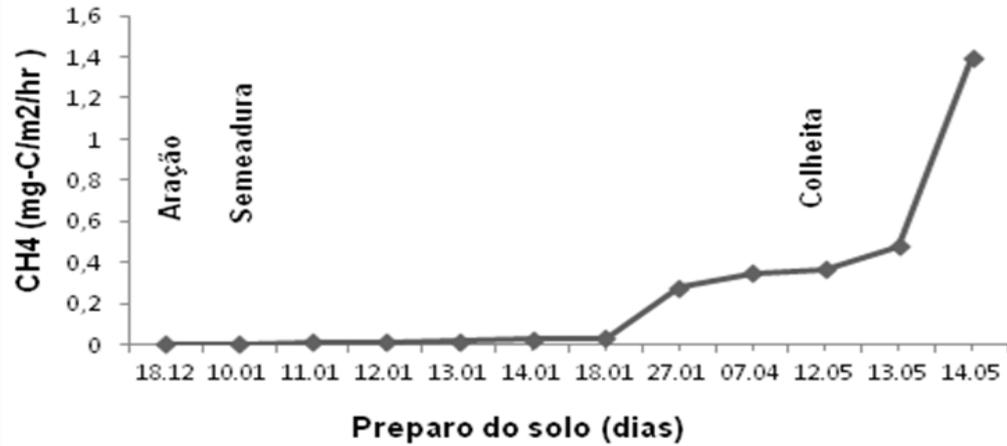


**Figura 15:** Temperatura média do ar na área de agricultura de plantio direto B129T9 durante o período de avaliação (11.11.2010 a 15.06.2011).

Analisando a temperatura do solo na área de agricultura, pastagem e capoeira, as temperaturas na capoeira foram estatisticamente menores ( $P < 0,05$ ) que as demais. Os valores médios encontrados foram de  $24,95^{\circ}\text{C} (\pm 0,1)$  na capoeira,  $28,6^{\circ}\text{C} (\pm 0,7)$  na pastagem e  $28,8^{\circ}\text{C} (\pm 0,3)$  na agricultura.

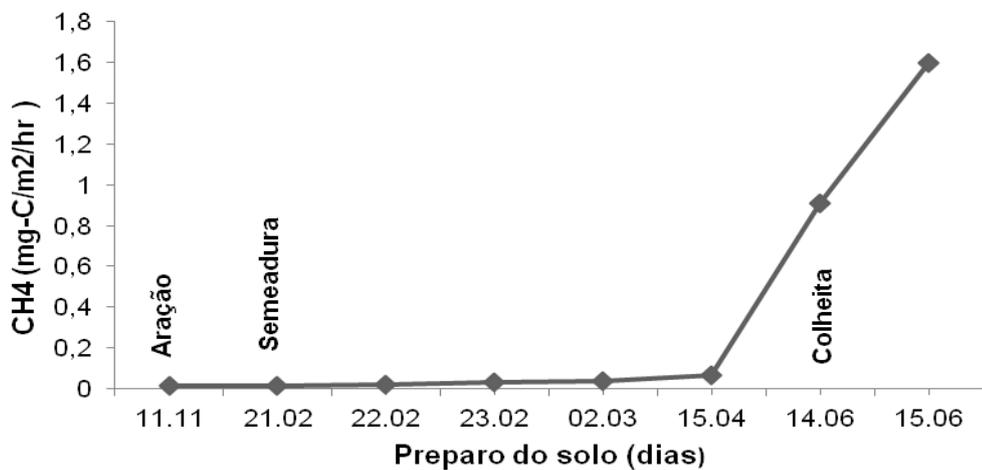
### 3.3 Fluxo de Metano

Na área de agricultura com a soja em sistema de plantio direto (B112T1) houve diferença significativa para os fluxos de  $\text{CH}_4$  no ciclo da cultura de soja, onde os fluxos médios encontrados variaram de  $0,0032 \pm 0,0016 \text{ mg-C/m}^2/\text{hr}$  até  $1,3962 \pm 0,91 \text{ mg-C/m}^2/\text{hr}$  (Figura 16).



**Figura 16:** Medidas de fluxos de metano no decorrer das coletas na área de agricultura B112T1.

Na área de agricultura com a soja em sistema de plantio direto (B129T9) comparando-se as medidas em diferentes períodos do estágio da cultura constatou-se diferenças significativas (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ), ou seja, os fluxos de metano encontrados na colheita foram diferentes dos demais fluxos (Figura 17). A variação dos fluxos médios foram de  $0,0157 \pm 0,0032$  mg-C/m<sup>2</sup>/hr até  $1,6002 \pm 0,2278$  mg-C/m<sup>2</sup>/hr.



**Figura 17:** Medidas de fluxos de metano no decorrer das coletas na área de agricultura B119T9.

Nos dois transectos de plantio direto percebe-se um aumento no fluxo de metano próximo da época da colheita e na colheita; uma possível explicação é que neste período devido ao aumento de material vegetal no solo, a atividade microbiana esteja mais acelerada.

De acordo com a análise de variância não existe diferença significativa entre os fluxos de metano encontrados para as coletas realizadas no transecto de soja em sistema de plantio convencional (B112T1b).

Estatisticamente, o fluxo de metano das áreas em que o sistema adotado foi o plantio direto (B112T1 e B129T9) não se diferenciaram. Mas, quando comparando - se o plantio direto com o plantio convencional constatou-se diferenças significativas (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3:** Fluxo médio de metano ( $\text{mg-C/m}^2/\text{hr}$ ) para os diferentes sistemas de agricultura.

Tratamento	Fluxo	
	CH <sub>4</sub>	Erro padrão
Plantio direto	0,29a	0,11
Plantio convencional	0,11b	0,07

Médias de fluxo seguidas por letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Gomes (2006) o plantio direto quando associado a sistemas com leguminosas ou gramíneas tendem a apresentar uma tendência de baixa taxa de absorção de metano, enquanto o plantio convencional se caracterizou como emissor de metano.

Para a área de capoeira não se encontrou diferença entre a primeira e a segunda medida em cada transecto. Comparando-se os 2 transectos de capoeira (B112T3 e B357T3) os fluxos foram estatisticamente iguais. Dessa maneira, o fator espacial não foi determinante para a diferenciação nos fluxos (média foi  $0,42 \pm 0,2 \text{ mg-C/m}^2/\text{hr}$ ), pois um dos transectos se encontra na microbacia 112 (PA 370) e outro na microbacia 357 (BR 163).

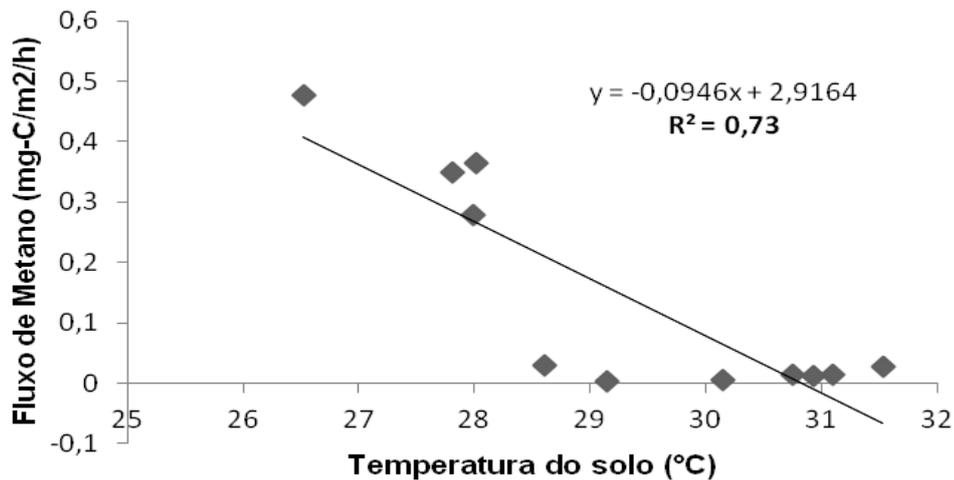
Na área de pastagem não se encontrou diferença entre a primeira e a segunda medida em cada transecto. Comparando o transecto B112T7 com o B129T7, constatou-se diferenças significativas (Teste de Tukey,  $p > 0,05$ ), o fluxo médio da área B112T7 foi  $0,21 \pm 0,18$  e o da área B129T7  $0,05 \pm 0,03 \text{ mg-C/m}^2/\text{hr}$ .

Quando se compararam as três áreas (Agricultura, Pastagem e Capoeira), de acordo com o resultado obtido na análise de variância não existe diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os fluxos, ou seja, estatisticamente a cobertura vegetal não ocasionou uma variação no fluxo de metano (Tabela 4).

**Tabela 4:** Análise de variância para comparar os três tipos de uso da terra em relação ao CH<sub>4</sub>.

Componente	Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F <sub>calculado</sub>	P-valor
Capoeira	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,033	0,858
	Dentro do Grupo	0,002	15	0,000		
	Total	0,002	16			
Agricultura	Entre Grupos	0,488	1	0,488	0,222	0,645
	Dentro do Grupo	30,767	14	2,198		
	Total	31,225	15			
Pastagem	Entre Grupos	0,760	1	0,760	0,338	0,570
	Dentro do Grupo	31,482	14	2,249		
	Total	32,242	15			

Existe correlação significativa e negativa entre o fluxo de metano e temperatura do solo na área de Agricultura de soja B112T1 (Figura 18). À medida que a temperatura aumenta, maior é a oxidação de metano pelo solo, isso se deve pois temperatura é um fator que pode aumentar a atividade de microrganismos do solo que consequentemente aumentarão a oxidação de CH<sub>4</sub> em ambiente aeróbico.

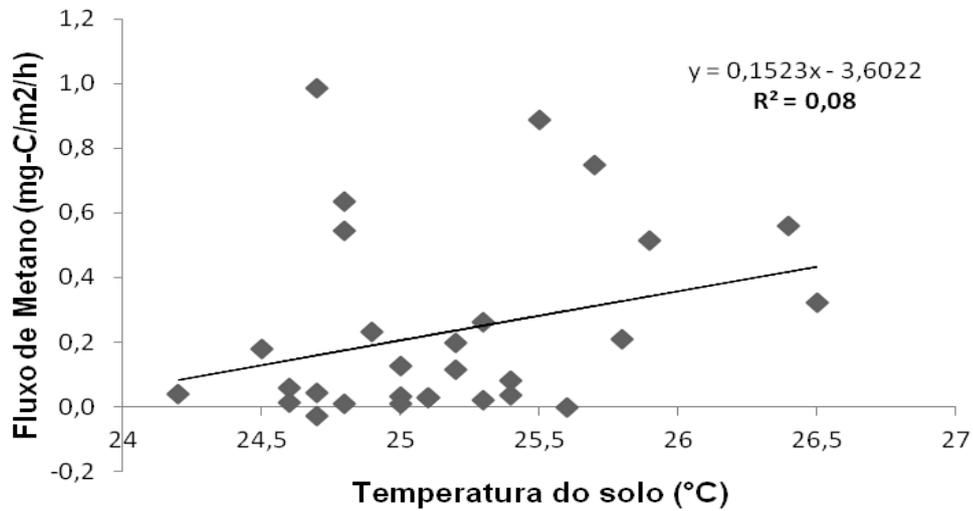


**Figura 18:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH<sub>4</sub> na área de agricultura B112T1.

Em estudo realizado por Moura (2010) na Floresta Nacional do Tapajós o fluxo de metano variou de -4,69 a 4,00 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, e a média foi de -1,17 (0,28) mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, indicando consumo de CH<sub>4</sub> pelo solo, indicado pelo fluxo negativo na maioria das medidas amostradas.

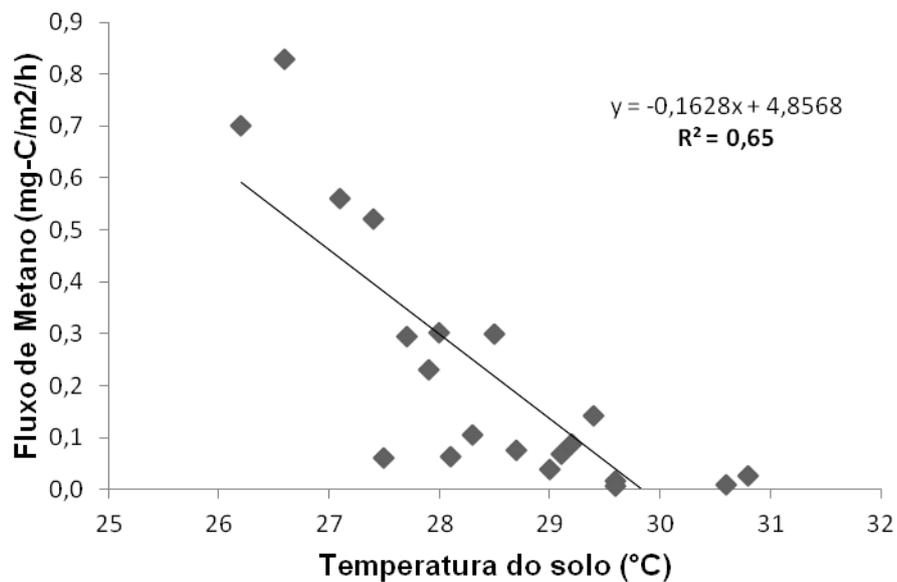
Na área de agricultura B112T1b e B129T9 não houve correlação significativa entre o fluxo de metano e a temperatura do solo. Em pesquisa realizada por Sampaio et al. (2006) em área de plantação de soja a média do fluxo de metano encontrado foi de  $-1,2 \pm 1,7$  mg-CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h, e os dados de umidade e temperatura do solo não se correlacionaram com o fluxo.

Na área de capoeira a correlação entre o fluxo de metano e a temperatura foi fraca e insignificante (Figura 19).



**Figura 19:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH<sub>4</sub> na área de capoeira.

Os fluxos de metano medidos nas áreas de pastagem se correlacionaram diretamente ( $P < 0,05$ ) com a temperatura do solo (Figura 20).



**Figura 20:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de CH<sub>4</sub> na área de pastagem.

Não houve correlação significativa entre o fluxo de metano e porcentagem de poros do solo preenchidos por água na área de agricultura B112T1 ( $R^2 = 0,052$ ), B112T1b ( $R^2 = 0,13$ ) e B129T1 ( $R^2 = 0,008$ ); nem área de pastagem ( $R^2 = 0,25$ ) e capoeira ( $R^2 = 0,30$ ).

### 3.4 Fluxo de Óxido Nitroso

Na área de agricultura com a soja em sistema de plantio direto (B112T1) houve diferença significativa para os fluxos de N<sub>2</sub>O na colheita da cultura, ou seja, o fluxo de N<sub>2</sub>O foi maior na colheita levando-se em consideração todo o ciclo.

Na área de agricultura com a soja em sistema de plantio direto (B129T9) comparando-se as medidas em diferentes períodos do estágio da cultura constatou-se diferenças significativas (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ), ou seja, os fluxos de óxido nitroso encontrados na colheita foram diferentes dos demais fluxos.

Aonde foi feito o plantio de soja em sistema convencional (B112T1b) encontrou-se diferenças significativas entre o plantio, a segunda semana de plantio e a colheita, o fluxo de N<sub>2</sub>O foi maior na colheita da soja (Tabela 5).

**Tabela 5:** Fluxo médio de óxido nitroso (mg-N/m<sup>2</sup>/hr) para as diferentes coletas durante o ciclo da soja em diferentes áreas.

Coletas	N <sub>2</sub> O B112T1	Erro padrão	N <sub>2</sub> O B129T9	Erro padrão	N <sub>2</sub> O B112T1b	Erro padrão
Antes do plantio	18,94a	3,68	11,28 <sup>a</sup>	3,76	32,45ab	14,25
Plantio	23,45a	5,34	45,24ab	7,03	10,6a	3,11
Semana após plantio	24,65a	9,25	31,36ab	8,80	15,56a	4,16
Intermediário	31,38a	5,70	16,12 <sup>a</sup>	1,91	43,80ab	13,92
Colheita	108,23b	30,92	96,57c	20,55	91,55c	29,29

Médias de fluxo seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de fluxo seguidas por letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Seria esperado valor maior de fluxos de N<sub>2</sub>O já nas primeiras medidas realizadas, pois trabalhos na literatura mostram que os picos de fluxo de óxido nitroso apresentam-se nos primeiros dias devido a fertilização (Matson et al., 1996) e depois se mantém constante.

Uma provável explicação para um decréscimo no fluxo de N<sub>2</sub>O na coleta realizada no período denominado de intermediário da área B129T9, é que neste período as plantas já estavam todas formadas (cheias de folhas, vagens e caules bem desenvolvidos), de modo que e a atividade bacteriana tornou-se muito baixa.

O valor de fluxo relativamente alto na área B112T1 pode ser atribuído a uma maior atividade microbológica, pois o solo apresentava-se bastante úmido devido a uma chuva forte no dia anterior.

A análise de variância demonstrou que não existe diferença significativa entre o fluxo de óxido nitroso nas distintas áreas de plantio direto (B112T1 e B129T9). Mas existe diferença entre o fluxo do sistema de plantio direto com o sistema de plantio convencional (Tabela 6) ao nível de 95% de confiabilidade, ou seja o sistema adotado influenciou o fluxo do N<sub>2</sub>O no cultivo de soja.

**Tabela 6:** Fluxo médio de óxido nitroso (mg-N/m<sup>2</sup>/h) para os sistemas nas áreas de agricultura.

<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>Erro padrão</b>
<b>Plantio direto</b>	40,7	10,7
<b>Plantio convencional</b>	38,8	10,7

As maiores emissões em plantio direto em relação ao plantio convencional encontradas neste estudo já foram reportadas anteriormente por outros autores (PAVEI, 2005; LIU et al., 2006; GOMES, 2006; ESCOBAR, 2007; ZANATTA et al., 2008) que atribuíram os resultados a compactação ou os espaços porosos do solo preenchidos por água do solo de plantio direto, o que reduziria a difusão de O<sub>2</sub> no solo, e a maior atividade microbiana que consumiria O<sub>2</sub> e criaria sítios de anaerobiose, favorecendo a produção de N<sub>2</sub>O por desnitrificação.

Resultado diferente foi encontrado por Carvalho et al. (2006) que realizaram estudos da emissão de óxidos de nitrogênio em Planaltina-DF e não encontraram diferenças significativas para emissões de N<sub>2</sub>O entre sistema plantio direto, com palhada de soja, mais mucuna-preta e milho, e plantio convencional com aração e gradagem. Os autores consideraram que houve rápida decomposição das palhadas de leguminosas e, conseqüentemente, baixo acúmulo de resíduos. No entanto, observaram acentuada variabilidade dos dados, com altos desvios em relação à média, o que pode ter contribuído para que não houvesse diferença significativa entre os tratamentos.

Nos estudos de Lessa et al. (2008) diferente do resultado encontrado nesta pesquisa, o uso de plantio direto não resultou em maior nem menor emissão de N<sub>2</sub>O do solo em comparação ao plantio convencional.

Os fluxos de óxido nitroso são bastante variáveis quando se compara diferentes culturas e mesmo considerando a mesma cultura. Resultados dessa natureza reforçam e validam a ideia proposta por Mosier (1990), de que as interações entre as variáveis físicas, químicas e biológicas são muito complexas, tornando-se necessário um número maior de

trabalhos experimentais para melhor caracterizar a emissão de óxido nitroso pela agricultura, pois cada cultura tem características próprias e reage de maneira diferente dependendo das condições ambientais.

Para a área de capoeira não se encontrou diferença entre a primeira e a segunda medida, e comparando-se as 2 áreas de capoeira (B112T3 e B357T3) os fluxos foram estatisticamente iguais (Tabela 7).

**Tabela 7:** Fluxo médio de óxido nitroso (mg-N/m<sup>2</sup>/hr) para as áreas de capoeira.

<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>Erro padrão</b>
<b>B112T3</b>	18,94 a	3,68
<b>B357T3</b>	20,02 a	6,78

Médias de fluxo seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pela análise de variância a 5% de probabilidade.

Na área de pastagem não se encontrou diferença entre a primeira e a segunda medida, e comparando-se as 2 áreas (B112T7 e B129T7) os fluxos foram estatisticamente iguais (Tabela 8).

**Tabela 8:** Fluxo médio de óxido nitroso (mg-N/m<sup>2</sup>/hr) para as áreas de capoeira.

<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>Erro padrão</b>
<b>B112T7</b>	35,51 a	20,9
<b>B129T7</b>	38,11 a	7,2

Médias de fluxo seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pela Análise de variância a 5% de probabilidade.

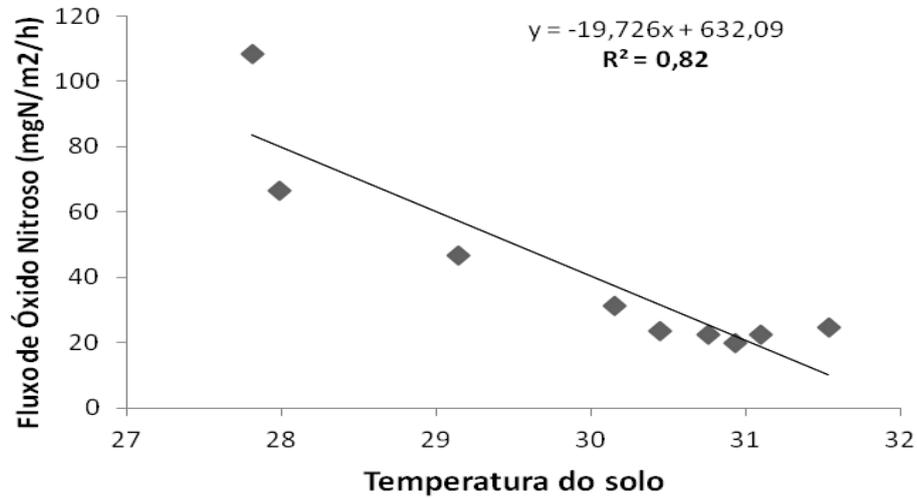
Quando se compararam as três áreas (Agricultura, Pastagem e Capoeira), de acordo com o resultado obtido na análise de variância existem diferenças significativas entre os fluxos, ou seja, estatisticamente o tipo de cobertura do solo ocasionou uma variação no fluxo de óxido nitroso, e de acordo com o teste Tukey a cobertura que emite menor quantidade de fluxo de N<sub>2</sub>O é a capoeira (Tabela 9).

**Tabela 9:** Fluxo médio de óxido nitroso (mg-N/m<sup>2</sup>/hr) para as diferentes áreas.

<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>Erro padrão</b>
<b>Agricultura</b>	40,08a	1,30
<b>Capoeira</b>	19,57b	0,76
<b>Pastagem</b>	36,81a	1,84

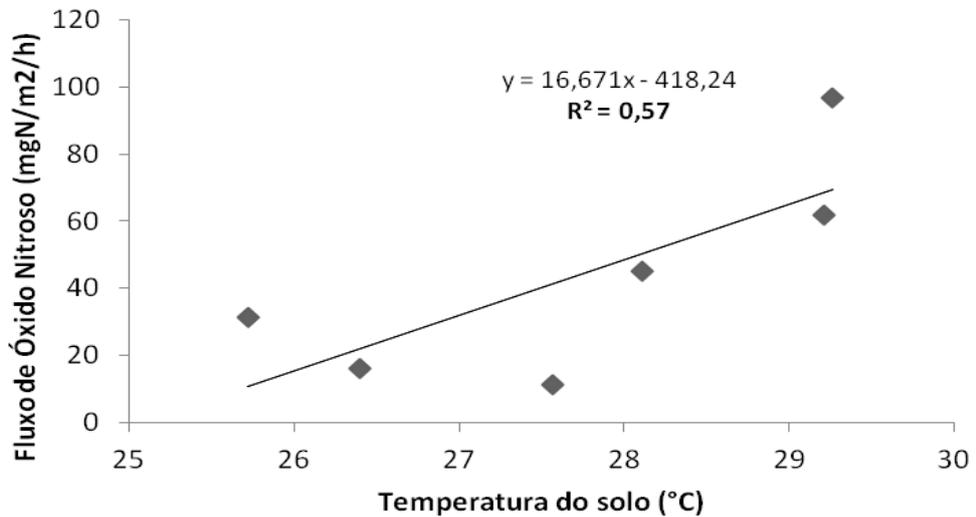
Médias de fluxo seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de fluxo seguidas por letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Correlação significativa e negativa encontrada entre  $N_2O$  e temperatura do solo na área de agricultura B112T1 (Figura 21).



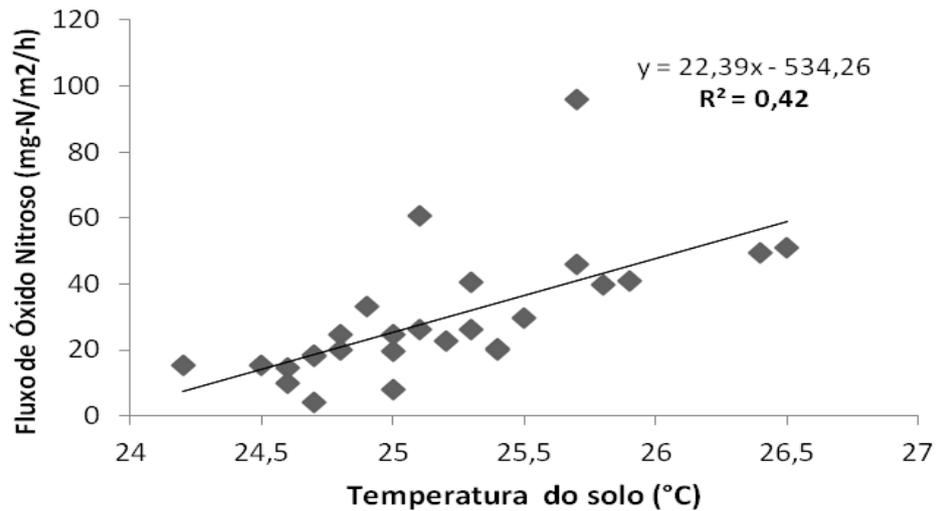
**Figura 21:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de  $N_2O$  na área de agricultura B112T1.

Na área de agricultura B112T1b não houve correlação significativa entre o fluxo de metano e a temperatura do solo. O fluxo de óxido nitroso se relacionou com a temperatura do solo na área de agricultura B129T9 (Figura 22).



**Figura 22:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de  $N_2O$  na área de agricultura B129T9.

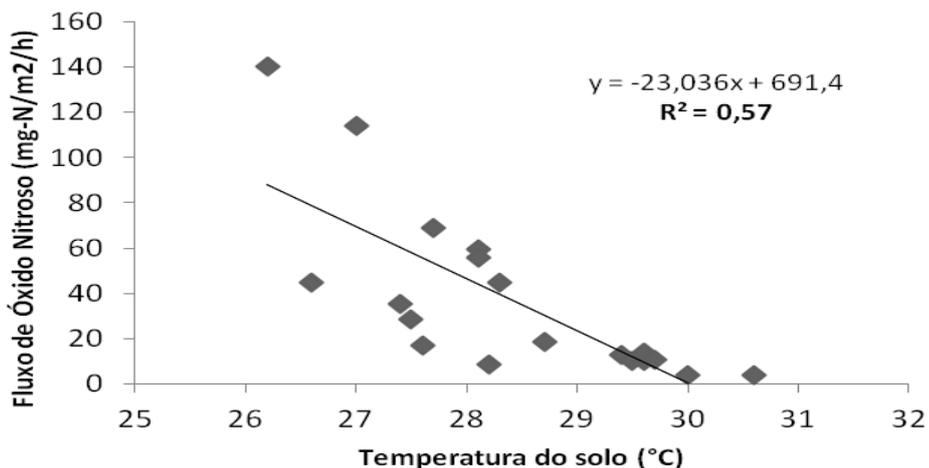
A correlação entre a temperatura e o fluxo de óxido nitroso na área de capoeira foi fraca (Figura 23).



**Figura 23:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N<sub>2</sub>O na área de capoeira.

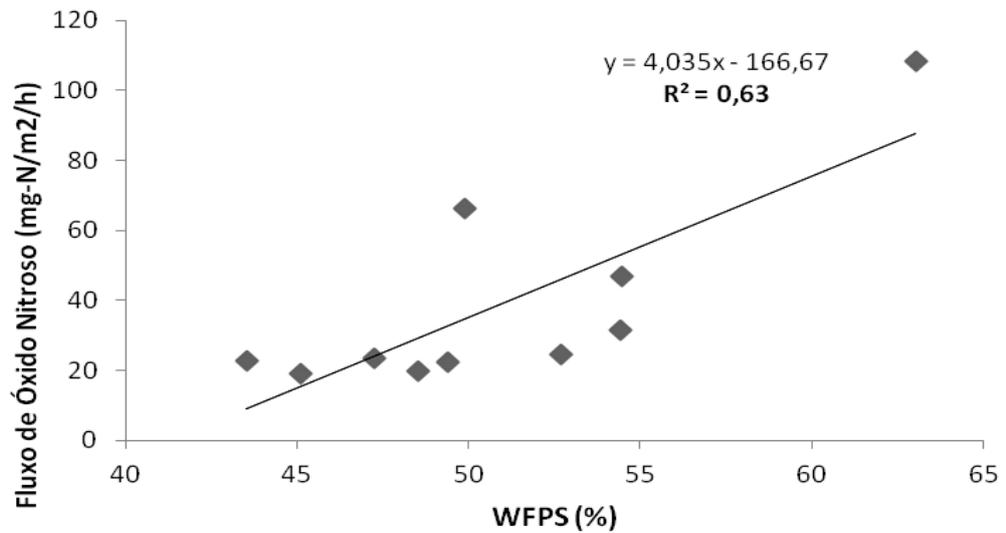
Dados da literatura sugerem que a conversão de floresta em pastagem pode causar um aumento significativo na emissão de N<sub>2</sub>O, no entanto alguns estudos tem mostrado que o aumento do fluxo desse gás em pastagem é transitório (VERCHOT et al, 1999). Em Paragominas (PA) pastagens jovens e antigas, e algumas pastagens ativas apresentaram valores mais baixos que a floresta primária (VERCHOT et al, 1999).

Na área de pastagem ocorreu correlação significativa entre a temperatura do solo e fluxo de óxido nítrico (Figura 24). Assim os maiores valores de fluxos corresponderam as menores temperaturas.

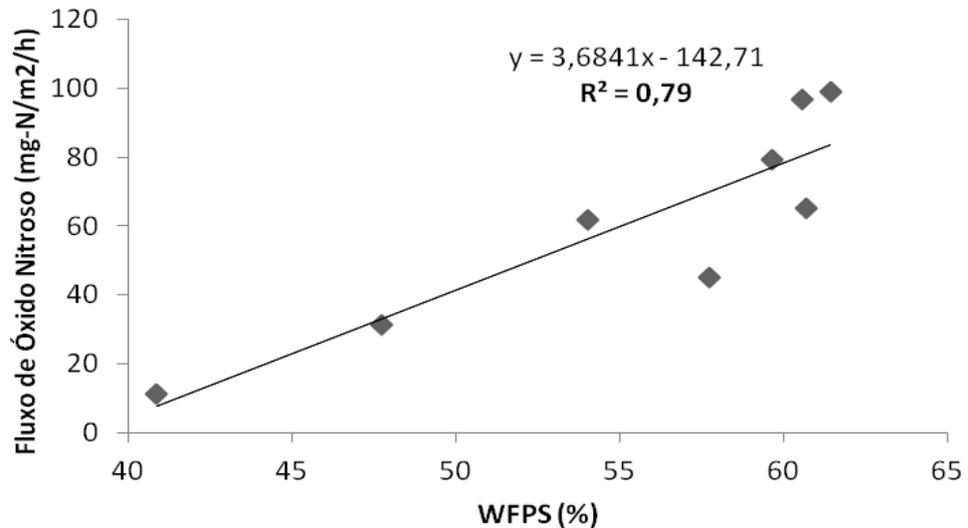


**Figura 24:** Correlação entre temperatura do solo e fluxo de N<sub>2</sub>O na área de pastagem.

Na area de agricultura B112T1 e B129T1 o fluxo de óxido nítrico e WFPS a relação foi descrita por uma função linear simples e se correlacionaram diretamente ( $p < 0,05$ ) (Figura 25 e 26). Nas demais áreas não houve correlação entre os fluxos e WFPS.



**Figura 25:** Correlação entre fluxo de N<sub>2</sub>O e WFPS do solo na área de agricultura B112T1.



**Figura 26:** Correlação entre fluxo de N<sub>2</sub>O e WFPS do solo na área de agricultura B129T9.

De acordo com o modelo de “hole-in-the-pipe” (HIP) (Firestone e Davidson, 1989) os fluxos de gases nitrogenados a partir do solo são controlados por dois fatores: pela concentração de N que cicla através do sistema e pelo teor de água no solo que rege a difusão de oxigênio e outros gases. As áreas de agricultura (B112T1 e B129T9) onde ocorreu correlação demonstraram que a quantidade de água no solo determina o fluxo de óxido nitroso validando assim o modelo HIP.

De acordo com o modelo de Davidson (1993) valores altos de óxido nitroso são esperados quando WFPS encontra-se na faixa de 50-90%, pois a aeração do solo torna-se limitada e as atividades de desnitrificação tornam-se máxima e o N<sub>2</sub>O torna-se o gás mais

abundante emitido. Os valores encontrados nas áreas pesquisadas encontram-se entre 40 e 65%.

## 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados é possível concluir que não existe diferença nos fluxos de metano quando se compara as áreas de agricultura, capoeira e pastagem. Para o fluxo de óxido nitroso agricultura e pastagem se comportaram de maneira semelhante, sendo porém diferente dos fluxos de capoeira.

Na agricultura com relação ao sistema de cultivo adotado, para os fluxos de metano e óxido nitroso existe diferença significativa entre o plantio direto e o plantio convencional.

A temperatura do solo se correlacionou com o fluxo de  $\text{CH}_4$  em apenas um dos transectos de agricultura (B112T1) e com a área de pastagem; o mesmo ocorreu para o óxido nitroso. Com relação aos espaços porosos preenchidos por água apenas os transectos de agricultura em sistema de plantio direto se correlacionaram com o fluxo de  $\text{N}_2\text{O}$ . As fracas correlações nas áreas estudadas entre os fluxos dos gases em questão com as variáveis ambientais sugerem que outros fatores estão participando do controle dos fluxos de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ .

Tendo em vista que ainda pouco se conhece sobre os processos de interação de gases na biosfera-atmosfera, e de como as mudanças de uso e cobertura de solo podem alterá-lo faz-se necessário à realização de mais estudos voltados à descrição e entendimento dos processos.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BAGGS, E. M. Partitioning the components of soil respiration: a research challenge. **Plant Soil**. v. 284, p.1-5, 2006.
- BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil and Tillage Research**, v. 35, p. 29-39, 1999.
- BONATO, P. S. **Cromatografia gasosa**. In: Collins, C. H.; Braga, G. L.; Bonato, P. S. (Org.). Fundamentos de cromatografia. Campinas: Unicamp, cap. 8, p. 203-270. 2006.
- CARDOSO, A. N.; SAMINEZ, T. C.; VARGAS, M. A. Fluxo de gases traço de efeito estufa na interface solo-atmosfera em solos do Cerrado. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**. 23p. 2001.
- CARMO, J. B.; NETO SOUSA, E. R.; KELLER, M. M.; GRILO, S. C.; MARTINELLI, L. A. **Fluxos de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em floresta tropical de mata atlântica do Estado de São Paulo**. In: VII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. Anais. Caxambu: Sociedade de ecologia do Brasil, 2007. p. 1-2, 2007.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P. & LAL, R. **Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America**. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, p.41-47, 2006a.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e aquecimento global**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 32, n.1, p. 40-44, jan./abr. 2007.
- CERRI, C. E. P.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDÓN, M. A. **Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest**. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, p. 245-266, 2006b.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99. 2007.
- CICERONE, R. J. Changes in stratospheric ozone. **Science** 237: 35-42, 1987.
- COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo - atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006.
- COSTA, A. R.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Santo Antônio de Goiás. **Embrapa Arroz e Feijão**, Documento 249, p. 47, 2009.

CRILL, P. M. Seasonal patterns of methane uptake and carbon dioxide release by a temperate woodland. **Global Biogeochemical Cycles** 5: 319-334, 1991.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science** 250: 1669-1678, 1990.

DAVIDSON, E. A. Soil Water content and the ratio of nitrous oxide to nitric oxide emitted from soil. In: OREMLAND, R. S. **The Biochemistry of Global Change: Radiace Trace Gases**. Washington (DC): American Society of Microbiology, p. 369-386, 1993.

DAVIDSON, E. A.; ISHIDA, F. Y.; NEPSTADE, D. C. Effects of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. **Global Change Biology** 10, p. 718-730, 2004.

DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; SHIDA, F. Y.; BRANDO, P. M. Effects of an experimental drought and recovery on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. **Global Change Biology** 14, p. 2582-2590, 2008.

DUXBURY, J. M., HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.. Contributions of agroecosystems to global climate change. In: HARPER, L. A., MOSIER, A. R., DUXBURY, J. M. AND ROLSTON, D. E. (eds) **Agroecosystems Effect on Radiatively Important Trace Gases and Global Climate Change**, p 1-18. Special Publication no. 55, American Society of Agronomy. Madison, Wisc, 1993.

EMBRAPA. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**: emissões de metano provenientes da pecuária (relatório revisado), Jaguariúna, 1999.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2007. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FARQUHARSON, R.; BALDOCK, J. Concepts in modelling N<sub>2</sub>O emissions from land use. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 309, n. 1-2, p. 147-167, Aug. 2008.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. For. **Ecol. Manag.**, 108:147-166, 1998.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Seasonal variation of soil chemical properties and CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. **Geoderma**, v. 107, p. 227-241, 2002.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basic of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: ANDREA, M. O./ SHIMEL, D. S. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: John Wily & Sons, p. 7-21, 1989.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 151, 2006.

GOUREAU, T. J. AND DE MELLO, W. Z. Tropical deforestation: Some effects on atmospheric chemistry. **Ambio** v. 17, p. 275-281, 1988.

HECHT, S. B. 1992. **Logics of livestock and deforestation**: The case of Amazonia, in *Development or Destruction: The conversion of tropical forests in Latin America*. Edited by T. Downing, S. B. Hecht, H. A. Pearson, and C. Garcia-Downing, p. 7-25, Westview, Boulder, Colo, 1992.

HOUGHTON, R. A. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. **Clim. Change** 19:99-118, 1991.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Floresta Nacional do Tapajós - Plano de Manejo**. IBAMA, Belterra, Pará. 373p., 2004.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normas Climatológicas.2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2011. IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001**: the scientific basis. United Kingdom, 2001. Disponível em: <[http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/climate/ipcc\\_tar/wg1/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/)>. Acesso em: 16 fev. 2011.

IPCC. **Climate change 1995: the science of climate change**. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 572 p. 1996.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. The physical Science basis: contribution on working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, 2007.

JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H. P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. **Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: avaliação de práticas usadas na produção de grãos do sul do País**. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa*. Porto Alegre: Genesis, p. 81-108, 2006.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.81, p.161-173, 2008.

KAISER, E. A.; KOHRS, K.; KUCKE, M.; SCHNUG, E.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J.C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of n-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology Biochemistry**, v. 30, n. 12, p. 1553-1563, 1998.

KELLER, M., MITRE, M. E.; STALLARD. Consumption of atmospheric methane in soils of central Panama effects of agricultural development. **Global Biogeochemical Cycles** v. 4, p. 21-27, 1990.

KELLER, M., VELDKAMP, E., WEITZ, A. M.; REINERS, W. A. Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica. **Nature** 365: 244-246, 1993.

KELLER, M.; VARNER, R.; DIAS, J. D.; SILVA, H.; CRILL, P.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; ASNER, G. P. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in the Tapajos National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, v.9, p.1-28, 2005.

KEPPLER, F.; HAMILTON, J. T. G.; ROCKMANN, T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. **Nature**, London, v. 439, n. 7073, p, 187-191, 2006.

LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; FEARNSIDE, P. M.; VASCONCELOS H. L.; FERREIRA, L. V. Deforestation in Amazonia. **Science** 304 (5674): 1109–1111, 2004.

LESSA, A. C.; JANTALIA C. P.; FARANCHINI, J. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de Óxido Nitroso na Cultura do Milho sob Sistemas de Plantio Direto e Plantio Convencional em Londrina, PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2008, Rio de Janeiro. **Anais**, 2008.

LIMA, M. A. Emissão de gases do efeito estufa proveniente de sistemas agrícolas no Brasil. **Biociência, ciência e desenvolvimento**. v.3, n. 17, p. 38-43, 2000.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. **The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from a clay loam soil**. *Plant Soil*, v. 280, p. 177-188, 2006.

MARANI, L. **Estudo da emissão de metano no pantanal sul-matogrossense**. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p.110 2007.

MARENCO, J. A. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o Território Brasileiro ao longo do século XXI. **Séries Biodiversidade**, n. 26, MMA, 2007.

MARINHO, E. V. A. **Medidas de óxido nitroso em ecossistemas naturais do Brasil**. São Paulo 114p. Tese de Doutorado (Departamento de Geofísica) - Universidade de São Paulo, 1993.

MEYERS, N. Tropical forests: Present Status and future outlook. **Clim. Change** 19: 3-32, 1991.

MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D. L.; STUEUDLER, P. A. Soil carbon stocks of de Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v. 59, n. 1, p. 244-247, 1995.

MOSIER, A. R., SCHIMEL, D. S., VALENTINE, D. W., BRONSON, K. and PARTON, W. J. Methane and nitrous oxide in native fertilized and cultivated grasslands. **Nature** 350: 330-332, 1991.

MOURA, J. M. S. **Fontes de metano em florestas tropicais da Amazônia : Análise da composição isotópica e uso de técnicas indiretas para a determinação de balanços gasosos nesses ecossistemas.** Tese (doutorado) - Programa de Pós graduação em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OSTERMAYER, F. **Estudo das emissões de gases formadores do efeito estufa e balanço resultante da conversão de motores á gasolina de uma frota de veículos leves para gás natural e álcool hidratado.** Tese (mestrado) – Programa de Pós graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR).** 115f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PRINN, R., CUNNOLD, D., RASMUSSEN, R., SIMMONDS, P., ALYEA, F., CRAWFORD, A., FRASER, P.; ROSEN, R. Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide reduced for ten years of ALE-GAGE data. **J. Geophys. Res.** 95: 18369-18385, 1990.

RIBEIRO, L. S. **O impacto do gás natural nas emissões de gases de efeito estufa: o caso do município do Rio d Janeiro.** 2003. Tese (mestrado) – Programa de Pós graduação em Ciências e Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.270, 2003.

RODHE, H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. **Science** 248: 1217-1219, 1990.

SAMPAIO, I. C. G.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; KELLER, M.; PEREIRA, C.; OLIVEIRA, K. Análise do Fluxo de Metano na Interface Solo-Atmosfera de Uma Plantação de Arroz, Uma Plantação de Soja e Uma Floresta Tropical, na Amazônia Oriental. **Espaço Científico (ULBRA)**, v. 1, p. 1-6, 2006.

SCHLESINGER, W. H. 1997. **Biogeochemistry an analysis of global change.** Academic Press, 2a. Ed., p. 565, 1997.

SCHIMIDT, G. A. **Methane: A scientific journey from obscurity to climate superstardom.** Goddard Institute for Space Studies, 2004. Disponível em: <<http://www.giss.nasa.gov/research/features/methane/>>. Acesso em: 01 fev. 2011.

SOUSA NETO, E. R. **Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e sua relação com a decomposição da serrapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica.** 2008. Tese (mestrado)- Programa de Pós graduação em Ciências. Universidade de São Paulo, p. 80, 2003.

STEUDLER et al., 1989. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature** 341: 314-315, 1989.

VIEIRA. C. F. A.; LIMA, L. C.; COUTINHO, M. M.; CAVALVANTE, F. S. A. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 29, n. 1, p. 72-83, jun. 2008.

WILLIAMS, M. **Forests, in the Earth as Transformed by Human Action**, edited by R. W. CLARK, J. F. RICHARDS, J. T. MATHEWS, and W. R. MEYER, , Cambridge University Press, Cambridge, New York. p. 179-201, 1990.

WUEBBLES, D. J.; HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth Science Reviews**, Boston, v. 57, n. 1, p. 177-210, 2002.

YAMAGUCHI, T.; VARGAS, M. A. T.; LUCHIARI JUNIOR, A.; KOSUGE, N. Attempts to measure N<sub>2</sub>O using a Brazilian made chromatograph. In: Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico do projeto nipo-brasileiro de cooperação em pesquisa agrícola nos Cerrados 1987/1992. [Planaltina]: **Embrapa- CPAC**. p. 504-516, Jica, 1994.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; VIEIRA, F. C. B.; KUHN, N.; MIELNICZUK, J. Emissões de Óxido Nitroso em Sistemas de Manejo de Solo no RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Anais**, 2008.