



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

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS DIFERENTES USOS DO
SOLO NAS EMISSÕES DE C-CO₂ NA REGIÃO DE
PLANALTO DE SANTARÉM, PARÁ**

MIÉRCIO JORGE ALVES FERREIRA JUNIOR

**Santarém, Pará
Março/2012**

MIÉRCIO JORGE ALVES FERREIRA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS DIFERENTES USOS DO
SOLO NAS EMISSÕES DE C-CO₂ NA REGIÃO DE
PLANALTO DE SANTARÉM, PARÁ**

ORIENTAÇÃO: PROF. DR. RODRIGO DA SILVA

CO-ORIENTAÇÃO: PROF. DR. RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JUNIOR

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

**Santarém, Pará
Março, 2012**

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

F383a Ferreira Junior, Miércio Jorge Alves
Avaliação do impacto dos diferentes usos do solo nas emissões de C-CO₂
na região de planalto, de Santarém, Pará / Miércio Jorge Alves Ferreira
Junior. – Santarém, 2012.
69 f.: il; 30 cm.
Inclui bibliografias.

Orientador Rodrigo da Silva, Co-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. Dióxido de carbono atmosférico. 2. Efeito estufa - atmosfera. 3. Ciclo do
carbono. 4. Solo – uso. 5. Santarém (PA). I. Silva, Rodrigo da, orient. II.
Título.

CDD: 21 ed. 577.144

Bibliotecário-Documentalista: Mayco Ferreira Chaves CRB-2/1257

DEDICATÓRIA

À minha querida mãe, Maria da Conceição da Silva Galúcio, minha querida esposa Francione Pantoja de Araújo e meus filhos Vinícius Pantoja de Araújo e João Pedro de Araújo Alves que tanto amo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu maravilhoso **DEUS** que a cada noite peço em orações sua benção e proteção para continuar trilhando o caminho da vida.

À minha mãe que tanto amor dedico, **Maria da Conceição da Silva Galúcio**, pela amizade, por me apoiar a todo o momento e pelo amor imensurável que tem me dispensado durante todo esse tempo.

À minha formidável esposa, **Francione Pantoja**, pela versatilidade na solução dos problemas que encontrei durante esse caminhar, pelo companheirismo, apoio e amor que me dedicou até momento, minha sogra, **Francisca Pantoja**, pelo grande apoio e meus adoráveis filhos **João Pedro** e **Vinícius de Araújo** fonte inesgotável de alegria.

Ao professor **Dr. Rodrigo da Silva**, por apostar desde o período de graduação no meu potencial, pela orientação, apoio, confiança, amizade, que muito contribuiu para meu crescimento científico e intelectual e pelo aceite no curso de mestrado.

Também, fica o meu imenso agradecimento, ao **Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior**, por contribuir de forma decisiva no processo de elaboração deste trabalho com suas importantes sugestões e pela disponibilidade para conversar sobre o trabalho.

Agradeço, também, ao **Dr. José Mauro de Sousa Moura**, pelo apoio em momento difíceis do trabalho, pelas valiosas sugestões que em muito enriqueceu o nosso trabalho e, também, por jamais se recusar a contribuir para a elaboração deste material.

Ao professor **Troy Beldini** pelas importantes sugestões que agregou, certamente, consistência a este trabalho.

Ao Dr. **Toby Gardner** e **Dr^a. Joice Ferreira** pelo auxílio financeiro e pelo fornecimento das informações quando solicitadas.

À CAPES pelo apoio financeiro através da concessão de uma bolsa de mestrado.

À **Embrapa/Amazônia Oriental** no nome do professor **Raimundo Cosme de Oliveira Junior** e **Cleuton** que apoiaram na logística do trabalho, sem esse auxílio não teria alcançado esta etapa, o meu muito obrigado.

Ao programa **LBA/Santarém** sob a coordenação do **Dr. Rodrigo da Silva** pelo apoio logístico o que foi importante para a viabilização deste estudo.

Ao programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Amazônia (PGRNA-

UFOPA) pela oportunidade de continuar meus estudos. Aos professores do PGRNA, que me ajudaram a conhecer mais sobre outras áreas do conhecimento científico e fizeram com que pudesse olhar a ciência com uma admiração ainda maior.

À todos os colegas do mestrado em Recursos Naturais da Amazônia (PGRNA-UFOPA) por compartilharem seus conhecimentos e pelo companheirismo. Meu agradecimento especial para **Antônio Paulo, Raphael, Wilderclay, Euclides**. A amizade de vocês foi essencial para mim.

Aos colegas do laboratório (T&E), e em especial a alguns que participaram efetivamente, durante as idas para o campo: **Alírio Furtado, Kleber “cetinha”, José dos Reis (Junior)**, contribuindo nas coletas de dados.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

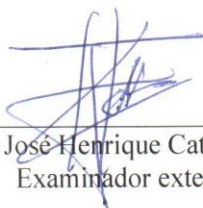
MUITO OBRIGADO!

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS DIFERENTES USOS DO SOLO NAS EMISSÕES DE C-CO₂ NA REGIÃO DE PLANALTO DE SANTARÉM, PARÁ

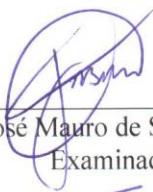
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Interação Biosfera - Atmosfera, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Para – UFOPA, em 28 de Março de 2012.

Prof(a). Dr(a). Rosa Helena Veras Mourão (UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ) Coordenadora do PGRNA

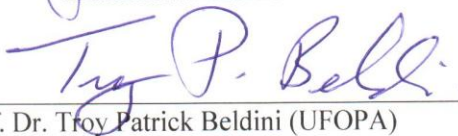
Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores



Prof. Dr. José Henrique Cattânio (UFPA)
Examinador externo



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



Prof. Dr. Troy Patrick Beldini (UFOPA)
Examinador interno



Prof. Dr. Rodrigo da Silva (UFOPA)
Orientador



Prof. Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior (Embrapa/Amazônia Oriental)
Co-orientador

Santarém, Março, 2012.

JUNIOR, Miércio Jorge Alves Ferreira. **Avaliação do impacto dos diferentes usos do solo nas emissões de C-CO₂ na região de planalto de Santarém, Pará** 2012. p. 69. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Interação Biosfera-Atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Para – UFOPA, Santarém, 2012.

RESUMO

Avaliação do impacto dos diferentes usos do solo nas emissões de C-CO₂ na região de planalto de Santarém, Pará

- O fluxo de dióxido de carbono (CO₂) depende da razão entre produção e consumo, e da difusão do gás no solo. A produção e emissão de CO₂ em áreas nativas, pastagens e cultivados, é resultado da atividade microbológica e mineralização da matéria orgânica, e depende de fatores ambientais favoráveis, tais como temperatura, disponibilidade da água e do uso da terra. Neste estudo, nós avaliamos os impactos da mudança de cobertura sobre o efluxo de C-CO₂ pastagens e florestas na área de planalto de Santarém, Pará. Utilizou-se o método de câmaras dinâmicas associadas com analisador de gás por infravermelho. Os resultados do presente trabalho evidenciam que o sistema Plantio Direto (PD) tem potencial de mitigar em 37,7% a participação agrícola no efluxo de C-CO₂ de solo com base no cultivo da soja sem a intensa mobilização do solo como ocorre no Plantio Convencional (PC). A variação da temperatura do solo respondeu por 65% da variabilidade do fluxo de C-CO₂ no PC. A variação da umidade do solo explicou em 73% e 51% a variação do fluxo de C-CO₂ no PD e PC, respectivamente. Estes resultados indicam que a umidade e temperatura do solo foram fatores controladores das emissões de C-CO₂ do solo para a atmosfera, pois estes parâmetros afetaram diretamente a atividade microbológica do solo. Os resultados, também, demonstram que a pastagem ativa apresentou os maiores efluxos de C-CO₂ do solo para atmosfera em relação às florestas e pastagem degradada na Região Oeste do Pará. Além disso, foi demonstrado que tanto as pastagens como florestas apresentam uma sazonalidade neste fluxo, que deve estar relacionada principalmente aos padrões de precipitação e potencial de água entre solo e ar. Foi observado forte correlação entre o efluxo e a umidade do solo tanto da capoeira quanto nas pastagens, já a temperatura do solo foi um fator controlador do efluxo apenas na

pastagem ativa. O valor médio do fluxo de C-CO₂ obtido na pastagem ativa foi de 218,9 mg C m⁻² h⁻¹ valor 40,7% superior em relação a floresta primária sendo de 155,5 mg C m⁻² h⁻¹. Finalmente, os resultados aqui apresentados sugerem que o plantio convencional e o manejo de pastagem ativa, atividades fortemente associadas à ação antrópica, potencializam alterações no balanço biogeoquímico do carbono nesses ecossistemas, uma vez que, o efluxo de C-CO₂ do solo está relacionado à produtividade primária destes ecossistemas.

Palavras-chave: Efeito estufa, mudança no uso do solo, Ciclo do carbono, Efluxo de C-CO₂ do solo.

JUNIOR, Miércio Jorge Alves Ferreira. **Assessing the impact of different land uses in the C-CO₂ emissions in the plateau region of Santarém, Pará.** 2012. P. 69. Master's Thesis in Natural Resources of the Amazon. Concentration Area: Biosphere-Atmosphere Interaction - Graduate Program in Natural Resources of the Amazon Universidade Federal do Para – UFOPA, Santarém, 2012.

ABSTRACT

The flow of carbon dioxide (CO₂) depends on the ratio between production and consumption, and diffusion in the soil. The production and emission of CO₂ in native areas, pastures and cultivated, is the result of microbial activity and mineralization of organic matter, and depends on favorable environmental factors such as temperature, water availability and land use. In this study, we evaluated the impact of changing coverage on the efflux of C-CO₂ pastures and forests in the plateau area of Santarem, Para used the method of dynamic chambers associated with infrared gas analyzer. The results of this work show that the system tillage (NT) has the potential to mitigate in 37,7% participation in agriculture C-CO₂ efflux of soil-based cultivation of soy without the intense tillage as in Planting conventional (PC). The temperature of the soil accounted for 65% of the variability of the flow of CO₂ in the C-PC. The variation of soil moisture explained 73% and 51% to the flux of C-CO₂ in PC and PD, respectively. These results indicate that soil moisture and soil temperature were controlling factors of CO₂-C emissions from soil to atmosphere because these parameters directly affect soil microbial activity. The results also show that the active pasture had the highest outflows of C-soil CO₂ to the atmosphere in relation to forests and degraded pasture in Western Pará. urthermore, it was shown that both the pastures and forests have a seasonality in the flow, which should be mainly related to precipitation patterns and water potential between soil and air. We observed a strong correlation between the efflux and soil moisture of both capoeira and in the pastures, as the soil temperature was a controlling factor of the active efflux only in the pasture. The average flow of C-CO₂ obtained in pasture active was 218,9 mg m⁻² h⁻¹ value of 40,7% higher than the primary forests and 155,5 mg m⁻² h⁻¹ . Finally, the results presented here suggest that the conventional tillage and pasture management active, activities strongly associated to human enhance biogeochemical changes in the balance of carbon in these ecosystems, since the efflux of C-CO₂ is related to soil productivity primary of these ecosystems.

Key-words: Greenhouse effect, change in land use, carbon cycle, C-CO₂ efflux from the soil.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESES	19
3. OBJETIVOS	19
3.2. Objetivo Geral	19
3.3. Objetivo Específicos	19
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
4.1 Efeito estufa e agricultura.....	20
4.2 Mudanças no uso do solo.....	21
4.3 Ciclo do carbono.....	22
4.4 Fluxos de CO ₂ em solo agrícolas.....	25
4.5 Técnicas de medição do fluxo de CO ₂ do solo.....	27
4.6 Potencial de mitigação do fluxo de CO ₂ em solos agrícolas.....	28
4.7 Umidade e temperatura do solo.....	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS	32
5.1 Área de estudo	32
5.2 Desenho amostral.....	33
5.3 Sistema de amostragem	34
5.4 Cálculo do fluxo de CO ₂	35
5.5 Elementos meteorológicos.....	37
5.6 Análise estatística.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6.1 Condições microclimáticas em relação ao plantio direto e convencional....	39
6.2 Comparação do efluxo de C-CO ₂ entre o plantio direto e convencional....	39
6.3 Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ e a temperatura do solo.....	43
6.4 Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ e a umidade do solo.....	45
6.5 Variação temporal do efluxo de C-CO ₂ entre as coberturas do solo.....	46

6.6	Variação sazonal do efluxo de C-CO ₂ entre as cobertura do solo.....	47
6.7	Comparação do efluxo de C-CO ₂ entre as coberturas do solo.....	50
6.8	Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ e a umidade do solo.....	52
6.9	Correlação entre efluxo de C-CO ₂ e a temperatura do solo.....	55
7.	CONCLUSÃO	58
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos transectos de estudo.....	33
Figura 2. Arranjo experimental utilizado para medição do fluxo.....	35
Figura 3. Interface gráfica computacional do programa Licor.....	36
Figura 4. Distribuição da precipitação diária e variação da temperatura média do ar referente ao plantio direto (PD) e convencional (PC) durante o período de avaliação (22/12/2010 a 13/05/2011).....	39
Figura 5. Efluxo de C-CO ₂ do solo nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação soja/milho. As barras indicam o desvio padrão da média.....	41
Figura 6. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a temperatura do solo sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.....	44
Figura 7. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e os poros preenchidos por água (PPA) sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.....	46
Figura 8. Variação sazonal do efluxo de C-CO ₂ do solo, umidade do solo e precipitação total mensal. As barras de erro representam o desvio padrão da variação espacial em capoeira (n=18), pastagem ativa (n=18) e pastagem degradada (n=18).....	49
Figura 9. Variação sazonal no efluxo de C-CO ₂ do solo em floresta primária, capoeira, pastagem ativa e pastagem degradada.....	51
Figura 10. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de capoeira durante o período chuvoso e seco.....	53
Figura 11. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de pastagem ativa durante o período chuvoso e seco.....	53
Figura 12. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de pastagem degradada durante o período chuvoso e seco.....	54
Figura 13. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de capoeira durante o período chuvoso e seco.....	55
Figura 14. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de pastagem ativa durante o período chuvoso e seco.....	56
Figura 15. Correlação entre o efluxo de C-CO ₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de pastagem degradada durante o período chuvoso e seco.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificação das microbacias de estudo e seus respectivos transectos (uso da terra).....	33
Tabela 2. Coletas de dados climáticos.....	37
Tabela 3. Valores médios do fluxo de CO ₂ (mg m ⁻² h ⁻¹), desvio padrão (DP), poros do solo preenchidos por água (PPA,%) e temperatura do solo à 5 cm de profundidade sob plantio direto e convencional durante o período de avaliação.....	43
Tabela 4. Valores médios do efluxo de CO ₂ do solo e desvio padrão da média (variação espacial) em floresta primária, capoeira (n=18), pastagem ativa (n=18) e pastagem degradada (n=18).....	48
Tabela 5. Valores médios do efluxo de CO ₂ e desvio padrão da média em floresta primária, capoeira, pastagem ativa e pastagem degradada durante o período chuvoso e seco (mg m ⁻² h ⁻¹).....	51

1 – INTRODUÇÃO

A concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera tem aumentado substancialmente nos últimos anos, como consequência das atividades antropogênicas. Tal incremento poderá redundar em uma intensificação do fenômeno de efeito estufa e, conseqüentemente, no aumento da temperatura média no planeta a nível global em até 5,8°C nos próximos 100 anos (INTERGOVERNAMENTL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2007).

Dentre os principais GEE o dióxido de carbono (CO₂) é o gás antropogênico mais importante, pois suas emissões anuais elevaram-se cerca de 80% entre 1970 e 2004, registrando em 2005 uma concentração atmosférica de 379ppm, a qual excedeu em grande medida o intervalo natural dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). As emissões de CO₂ do solo resultam, principalmente, de atividades como a queima de combustível fóssil, a queima de florestas e a perda da quantidade de húmus do solo (Houghton et al., 1992). Estima-se que a média anual das emissões de carbono para a atmosfera resultante da queima de combustíveis fósseis e também a mudança de uso da terra na década de 90, foi de 8,5 ± 1,2 bilhões de toneladas (IPCC, 2001).

O desmatamento em regiões tropicais é um dos principais causadores de mudanças globais. A conversão de florestas em pastagens afeta os ciclos biogeoquímicos, fluxos de carbono para atmosfera, a biodiversidade terrestre e também a viabilidade social e econômica dos povos tradicionais das florestas (Salimon et al., 2004). Em decorrência disso, novos cenários de mudanças no uso da terra avançam sobre áreas naturais dentro da região Amazônica, provocando alterações que tornam imprevisíveis a intensidade dos impactos causados por esse novo ciclo de produção. O avanço da fronteira agrícola sobre essas áreas naturais, removendo a cobertura vegetal natural, e mesmo o impacto da utilização de novas técnicas de produção e novas formas de manejo tem consequências devastadoras nos processos conduzidos por microorganismos e pelas novas formas de cultura que se estabelecem dentro da região. A utilização e até mesmo a preservação desses recursos naturais e suas funções ecológicas, o tão almejado desenvolvimento sustentável, ainda está longe de ser alcançada (Fearnside, 2002; Foley et al., 2007).

Na região oriental da Amazônia, a fronteira agrícola (soja) se expande trazendo mudanças a um cenário já bastante alterado por incursões anteriores (pecuária) que também

visavam à produção de alimentos. A expansão da fronteira agrícola, que para seu estabelecimento altera as áreas e modifica toda a estrutura da região que ocupa. Além disso, os impactos não ficam restritos às áreas cultivadas, mas devido aos padrões de climatológicos da região, os efeitos causados pela utilização desordenada de fertilizantes e defensivos agrícolas são sentidos nas áreas naturais que circundam essas áreas de produção. Florestas e corpos d'água são atingidos pelos compostos emitidos pelas áreas de cultivo e têm suas funções ecológicas modificadas e passam a não mais contribuir com seus processos naturais. Dentro da região, a diversidade dos ambientes e das condições climáticas torna necessário medidas a longo-prazo da dinâmica dos mecanismos que controlam as interações entre biosfera e atmosfera (Fearnside, 2002; Foley et al., 2007; Nepstad et al., 2007).

Estes cenários de impacto se alternam dentro da região e, por conseguinte, alteram também os processos e as taxas as quais eles ocorrem. Dentro da região oeste do estado Pará, uma frente de expansão agrícola se estabelece e pouco ou nenhum estudo são realizados na tentativa de se avaliar o impacto causado nas áreas antropizadas e o seu efeito nas áreas naturais próximas a esses novos pólos de produção. Em uma escala regional, o conhecimento sobre este tipo de mudança de cobertura e uso da terra é fundamental para avaliarmos o funcionamento de um ecossistema e também para planejamento de uso da paisagem. O desmatamento na Amazônia brasileira está principalmente relacionado à conversão de florestas em pastagens (Fearnside, 2002; Nesptad et al., 1994).

Após a utilização destas pastagens ou após o plantio por alguns anos, os solos desta região se tornam pouco produtivos e a prática mais comum é o abandono das áreas – que entram em um estágio de sucessão secundária, denominado regionalmente de capoeira. Desta forma, existem três principais coberturas do solo na região amazônica: as florestas primárias, as pastagens e as capoeiras (Salimon et al., 2004).

Algumas pesquisas apontam as consequências do desmatamento e conversão em pastagens nos estoques de carbono na vegetação (Houghton et al. 2001) e também nos solos (Batjes e Dijkshoorn, 1999). Porém, o fluxo de carbono do solo para atmosfera tem sido pouco estudado na Amazônia, com excessão em alguns locais no Pará (Davidson et al., 2000; Davidson et al., 2004; Trumbore et al., 1995; Doff Sotta et al., 2007; Vasconcelos et al., 2004; Keller et al., 2005) e em Rondônia (Feigl et al., 1995; Meir et al., 1996). No entanto, a respiração do solo nos trópicos sob agricultura é ainda pouco estudada. Este fluxo pode ser na forma de CO₂, CH₄ e outros compostos orgânicos voláteis. Destas fontes de

carbono para atmosfera, o CO₂ é o mais importante em termos de massa – especialmente através de queimadas e respiração de raízes e microrganismos do solo.

Nesses processos de mitigação, como sistemas conservacionistas de manejo, o solo constitui um importante compartimento, por ser um importante reservatório natural de carbono. Pois é capaz de estocar uma quantidade de carbono quase que 3 vezes mais em relação ao que armazena a vegetação e 2 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999), uma variação mínima no C acumulado neste poderia resultar em consideráveis mudanças na concentração atmosférica de CO₂ (Luo, Want e Sun, 2010). A emissão de CO₂ do solo é considerada a segunda maior componente do ciclo global do carbono sendo de grande relevância, portanto, nas variações climáticas (Reth et al., 2005). A liberação de CO₂ à atmosfera é atribuída ao metabolismo de raízes, ao metabolismo das bactérias e micróbios e ao metabolismo da fauna e é influenciada pela temperatura e umidade, entre outros fatores (Rastogi et al., 2002).

O cultivo do solo por métodos de aração e outros métodos de preparo, incrementa a mineralização do carbono orgânico do solo (COS) e as emissões de CO₂ (Reicosky et al., 1999). Os níveis de C orgânico do solo podem ser maiores sob solo não preparado do que sob solo preparado, mesmo quando a produção de biomassa é semelhante nos dois sistemas de manejo (Bono et al., 2008). A decomposição da matéria orgânica do solo é aumentada pela perturbação física causada pelo preparo, o qual provoca a quebra dos macroagregados e expõe o carbono protegido no interior deles aos processos microbianos (Cambardella; Elliott, 1992). A magnitude das perdas de carbono na forma de CO₂ devido às práticas de preparo do solo está muito associada com a intensidade do grau de perturbação atingidas pelos implementos utilizados. Assim, dependendo do modo como o sistema de manejo é adotado, o solo pode desempenhar papel de fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera (Lal et al., 1995; Bernoux et al., 2005).

Em face deste cenário, torna-se fundamental um melhor entendimento do efeito dos diferentes sistemas de preparo do solo vinculados às práticas agrícolas sobre o ciclo biogeoquímico do carbono no solo. Sendo, deste modo, crucial a identificação e desenvolvimento de sistemas de manejo do solo sustentáveis que resultem em um sequestro de carbono.

Presume-se que estas alterações neste ciclo resultantes na mudança no e cobertura do solo possa acarretar conseqüências climáticas a nível local, regional e global. Com intuito de entender essas conseqüências e atenuar seus efeitos negativos, torna-se necessário um melhor

entendimento do efluxo de C-CO₂ tanto da floresta quanto das outras formas de uso da terra, como a capoeira, a pastagem e as áreas de agricultura.

2 – HIPÓTESE

- O efluxo de C-CO₂ é menor no solo sob plantio direto do que no solo sob preparo convencional, ambos manejados sob o mesmo sistema de rotação de culturas.
- A mudança de cobertura e uso do solo interfere no efluxo de C-CO₂ do solo para atmosfera ao nível da paisagem.
- A variabilidade nos valores do efluxo de C-CO₂ do solo será influenciada pela sazonalidade da precipitação e condições microclimáticas (temperatura e umidade do solo).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- Quantificar as emissões de C-CO₂ em áreas agrícolas (plantio direto e convencional), de pastagens, capoeiras e áreas de floresta primária na região de planalto de Santarém, Pará.

3.2 Objetivos Específicos

- Comparar o fluxo de C-CO₂ do solo entre plantio direto e convencional em área agrícola;
- Comparar o fluxo de C-CO₂ entre estas coberturas do solo;
- Avaliar a influência da sazonalidade nas emissões de C-CO₂ para a atmosfera;
- Verificar a influência de alguns parâmetros ambientais (temperatura e umidade do solo) nas emissões de C-CO₂ do solo;

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 - Efeito estufa e agricultura

O efeito estufa é um fenômeno natural promovido por gases traços, que juntamente com o vapor d'água da atmosfera, absorvem e emitem radiação infravermelha, mantendo a temperatura média do planeta ao redor dos 14° C, sendo importante para o surgimento e a manutenção da vida no planeta (Baede et al., 2001).

Os principais gases traços, também chamados de gases de efeito estufa (GEE), são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), sendo responsáveis por aproximadamente 50, 15,5 e 5% do forçamento radiativo causador do efeito estufa, respectivamente (IPCC, 2007).

Porém, o desenvolvimento industrial e a expansão das fronteiras agrícolas do mundo, principalmente a partir de meados do século XIX, têm acentuado a emissão de GEE, promovendo, assim, um efeito estufa adicional (Costa et al., 2008b) e, como consequência, há um incremento na temperatura média do planeta, chamado de aquecimento global, que apresenta sérias conseqüências ambientais e ao setor produtivo (IPCC, 2007).

A partir da Revolução Industrial, a concentração de CO₂ aumentou 35%, de CH₄ 48% e de N₂O 55%, até 2005. Ressalta-se que o N₂O e CH₄ são emitidos em menores quantidades do que o CO₂, porém apresentam potencial de aquecimento 296 e 27 vezes, respectivamente, maior do que o CO₂ (IPCC, 2007). Parte dos GEE é oriunda das atividades agrícolas, caracterizando esse setor como um dos responsáveis pelo aumento do efeito estufa. Estima-se que a agricultura seja responsável por 23% das emissões de GEE de origem antropogênica (Cerri et al., 2004).

A contribuição da atividade agrícola ocorre principalmente pelo desmatamento, cultivo de arroz irrigado, criação de ruminantes, uso de fertilizantes minerais e pela decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), promovida pelas práticas de preparo do solo (Lal et al., 1998; Reicosky & Lindstrom, 1993).

A nível mundial, a estimativa é de que a agricultura contribua com aproximadamente 22% das emissões totais de CO₂, 80% das emissões de N₂O e 55% das emissões de CH₄ (IPCC, 2007). Já no Brasil, estima-se que 75% das emissões de CO₂, 94% das emissões de N₂O e 91% das emissões de CH₄ sejam oriundas de atividades agrícolas (EMBRAPA & CNPMA, 2006; Cerri & Cerri, 2007).

Frente à problemática do aquecimento global, destaca-se o papel potencial da agricultura em atuar como um dreno de GEE, contribuindo para mitigação do forçamento radiativo da atmosfera (Gomes, 2006). Estima-se que o setor agrícola possa compensar de 20 a 30% das emissões de GEE do Brasil (Bayer, 2007). Porém, no Brasil a pesquisa sobre GEE é bastante recente e as ações devem ser intensificadas visando melhor quantificar a contribuição dos diferentes agroecossistemas para as emissões, bem como identificar atividades ou práticas com potencial de mitigação (Costa et al., 2008b).

4.2- Mudanças no uso do solo

Atualmente, em decorrência dos problemas de emissão de gases (CO_2 , N_2O , CH_4 e CFC) e do conseqüente efeito estufa, tem sido muito grande o interesse no estudo do comportamento dos solos quanto à sua capacidade de armazenar ou perder C, nas diversas condições de manejo existentes. A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas introduzidas causa a redução no conteúdo e alteração na qualidade de C do solo (Houghton, 1995). Entretanto, dependendo do manejo aplicado, pode ocorrer equilíbrio com recuperação e até mesmo acumulação, o que seria ecologicamente vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO_2 da atmosfera, reduzindo-se o efeito estufa e os impactos da atividade agrícola no ambiente (Siqueira, 1993).

O carbono acumulado em ecossistemas terrestres tem sido analisado como uma das possibilidades para contabilizar a fração do C ainda não identificada no balanço deste elemento na atmosfera (Gifford, 1994). Fisher et al. (1994) observaram que, em solos de pastagens, introduzidas nas savanas colombianas, ocorreu acúmulo de C no solo comparativamente à vegetação nativa, caracterizando o solo como local de depósito do C- CO_2 da atmosfera. Por outro lado, Silva et al. (1997) verificaram que, em algumas situações em que as pastagens eram manejadas inadequadamente, o solo sob essas gramíneas substituídas apresentou menor estoque de C em relação à vegetação nativa.

De acordo com Houghton (1995), o desmatamento e os cultivos de áreas de pastagens naturais estão entre as principais causas de emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Segundo Lal et al. (1995b), a magnitude da emissão e o tipo de gases que causam o efeito estufa, a partir dos processos de degradação do solo, dependem do uso da terra, sistemas de cultivo e manejo do solo. O manejo do solo afeta a dinâmica do C e a emissão

de gases por meio da sua influência nos processos e propriedades do solo, dentre estes destacam-se os regimes térmicos, hídricos e de agregação.

Alguns trabalhos têm indicado que os solos de regiões tropicais podem desempenhar papel importante como depósito de C-CO₂ da atmosfera, reduzindo a contribuição do aumento do efeito estufa (Lal et al., 1995a). Entretanto, na região dos Cerrados, além das queimadas, que liberam grande quantidade de CO₂ para atmosfera, há uma apreciável atividade de uso do solo (culturas anuais, pastagens e reflorestamento), que também é responsável pela perda de C do solo. A comparação entre os estoques de C em diversos agroecossistemas, em relação aos do sistema natural existente, tem sido utilizada para avaliar o papel do solo como fonte ou depósito de C-CO₂.

O conhecimento dos estoques de C e de sua dinâmica no solo em sistemas naturais e agroecossistemas na região de Planalto de Santarém são importantes no desenvolvimento de tecnologias para estabelecer sistemas sustentáveis, bem como para analisar o papel do solo como fonte ou depósito do C-CO₂ da atmosfera.

4.3 - Ciclo do carbono

O carbono, na forma de CO₂, é movimentado por processos naturais entre a atmosfera e os continentes, e entre a atmosfera e o oceano. Os processos naturais envolvidos são a fotossíntese, a respiração e a dissolução. Esta movimentação pode ser encarada como um processo cíclico, e é geralmente denominada como o ciclo de carbono. Como em muitos períodos da história do planeta, este ciclo, anualmente, não se encontra em equilíbrio (Schlesinger, 1997). Como resultado da queima de combustíveis fósseis e das mudanças do uso da terra, existe atualmente um incremento antropogênico de carbono para a atmosfera, da ordem de 5,5 Pg de carbono (C) anuais, na forma de CO₂ [1 peta grama (Pg) = 1 bilhão de toneladas]. Destas, apenas 3,5 PgC (peta grama de carbono) permanecem na atmosfera, e passam a contribuir efetivamente para o efeito estufa, sendo o restante dissolvido no oceano, ou é sequestrado pela atividade fotossintética, ficando retido como biomassa viva, ou matéria orgânica do solo. (Schlesinger, 1997).

A superfície terrestre contém em torno de 10²³ g de C. Deste, a maior parte (80000000 Pg de C) está contida em rochas sedimentares, como carbonato e compostos orgânicos. Este reservatório, contudo, é de ciclagem extremamente lenta, e geralmente não é levado em conta no estudo do ciclo global de carbono, principalmente quando se está

interessado nas mudanças climáticas globais de origem antrópica. O conteúdo de combustíveis fósseis disponíveis para a captação humana é estimado em 10000 PgC. Os outros reservatórios ativos de carbono na crosta terrestre e atmosfera somam 40000 PgC. O carbono dissolvido nos oceanos constitui o maior reservatório superficial de carbono (estimado em 38000 PgC). Este reservatório possui uma importante propriedade de tamponar as mudanças na concentração de CO₂ atmosférico. Nos continentes, o maior reservatório de carbono está nos solos, que contém estimados 1.560 PgC no primeiro metro, aproximadamente, de profundidade do solo. A atmosfera contém aproximadamente 750 PgC, e estima-se que 560 PgC estejam estocados na cobertura vegetal. (Grace, 2001; Schlesinger, 1997).

A cobertura vegetal, apesar de constituir um reservatório bastante limitado de carbono, é a responsável pelo fluxo mais intenso de carbono no ciclo global, através da fotossíntese: estima-se que a produção primária retire cerca de 120 PgC na forma de CO₂ anualmente da atmosfera, sendo que 60 PgC retornam para a atmosfera como respiração dos tecidos vivos. Assumindo este fluxo como em equilíbrio (ou seja, quando os ecossistemas estão em clímax de sucessão ou que o CO₂ liberado por distúrbios seja igual à acumulação de carbono pelas áreas em processo de sucessão), acredita-se que 60 Pg C retornem à atmosfera através da decomposição da matéria orgânica na superfície do solo (Schlesinger, 1997).

Outro grande fluxo no ciclo global de carbono é representado pelo fluxo entre a atmosfera e o oceano, que movimentam aproximadamente 90 PgC anualmente. Este fluxo, bidirecional, é regulado tanto pela atividade fotossintética e de respiração da biota marinha como pelo processo de dissolução e liberação de CO₂ na água, sem o envolvimento da biota. A biota marinha, apesar de constituir um estoque bastante modesto, pode assumir um papel importante como regulador do fluxo entre o oceano superficial e profundo (Schlesinger, 1997).

Dois tipos de atividade humana são, fundamentalmente, os maiores causadores da liberação de dióxido de carbono para a atmosfera: O uso de combustíveis fósseis e o desflorestamento e queimada de florestas, em sua maioria tropical, para o uso agrícola e pastoril. Atualmente, não existem dúvidas de que a queima de combustíveis fósseis seja a principal responsável pelo incremento antropogênico de CO₂ para a atmosfera (aproximadamente 6 PgC/ano), já as emissões de carbono para a atmosfera advinda das mudanças de uso da terra são de menor magnitude (estimados 0,9 PgC/ano) (Vitousek,

1992), porém sujeitas a consideráveis incertezas e divergências (Houghton, 2003; Grace, 2001). Quando se soma todos os fluxos de entrada e saída de carbono entre a atmosfera e outros reservatórios, percebe-se um desequilíbrio, que seria responsável por uma acumulação de carbono na atmosfera da ordem de 4,5 PgC anuais. Contudo, quando se mede a variação anual na concentração de carbono na atmosfera, observa-se uma acumulação da ordem de 3,2 PgC/ano (Schlesinger, 1997).

Acredita-se que a diferença entre acumulação total estimada e a observada seja retirada por um fluxo ainda não muito bem definido, que já foi denominado como o “misterioso reservatório de carbono”. A procura pelo responsável por este fluxo e pelo reservatório onde este carbono está sendo estocado domina grande parte da literatura recente sobre o ciclo global de carbono. Atualmente, acredita-se que este efeito seja fruto da fertilização de CO₂ e de compostos nitrogenados sobre ecossistemas florestais, principalmente nas regiões temperadas. (Grace, 2001).

Na medida em que a atividade humana continua a emitir CO₂ na atmosfera, surge a questão sobre a capacidade dos ecossistemas terrestres e oceano em absorver uma quantidade tão grande de carbono das emissões presentes e futuras. A biosfera terrestre parece ter "funcionado" como um dreno de CO₂, à taxa de aproximadamente 1,4 PgC.a⁻¹ na década de 90, absorvendo cerca de 22% das emissões antropogênicas de CO₂. As mudanças climáticas e a alteração da concentração atmosférica do CO₂ provavelmente alterarão, em muitos aspectos, o balanço de carbono dos ecossistemas terrestres, afetando as taxas de fotossíntese, respiração, mortalidade da vegetação e distúrbios outros. (Foley et al, 2003).

O estudo de modelagem realizado por (Cox et al.,2000) sugerem que o aquecimento global pode diminuir a capacidade da biosfera de atuar como dreno, a qual passaria a ser uma fonte de CO₂ atmosférico, por volta do ano de 2050, devido à redução expressiva da precipitação sobre a bacia Amazônica que aumentaria a mortalidade de árvores e aceleraria a oxidação da matéria orgânica. O que o aquecimento global pode reduzir a capacidade da atmosfera de absorver CO₂ em 25%.

Apesar de estes estudos diferirem em seus detalhes, a mensagem principal é clara: A quantidade de CO₂ na atmosfera, no futuro, não será definida somente pela atividade humana, mas também pelo oceano e pelos ecossistemas terrestres. O aquecimento global pode ser significativamente acelerado, caso os ecossistemas terrestres passem a eliminar CO₂, ou tenham sua capacidade de absorção reduzida. Segundo Townsend et al. (1992), as altas taxas de respiração dos solos dos ecossistemas florestais estariam relativamente susceptíveis aos

aumentos relativamente pequenos da temperatura global, promovendo emissões absolutas altas e tornando-se assim muito importantes nos mecanismos de retroalimentação do ciclo global de carbono.

4.4 - Fluxo de CO₂ e respiração do solo

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema (Bruce et al., 1999), por armazenar, em média, 2,8 vezes mais carbono do que a biota e 2 vezes mais do que a atmosfera (Lal, 2004a). Porém, a concentração de CO₂ na atmosfera tem aumentado, principalmente, em virtude do grande consumo de combustíveis fósseis e pelo desflorestamento (Reicosky & Lindstrom, 1993; Cerri et al., 2004).

Neste sentido, os fatores que aumentam as entradas de C e/ou diminuem a respiração do solo, irão favorecer o acúmulo de C, criando um dreno de CO₂ atmosférico (Smith & Conen, 2004). Os processos de influxo e efluxo de C do solo dependem das práticas de uso e manejo do solo, dentro dos limites impostos pelas condições climáticas e edáficas (CAST, 2004; Frank et al., 2006). O influxo de C pode ser definido como a remoção líquida de CO₂ da atmosfera e seu armazenamento em diferentes compartimentos, como, por exemplo, terrestre (Lal, 2004b).

No compartimento terrestre o CO₂ é produzido a partir da componente heterotrófica e autotrófica. O mais importante é o heterotrófico que pode ser subdividido em dois subgrupos: Os microorganismos do solo (bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários) e a macrofauna do solo (invertebrados macroscópicos e pequenos mamíferos) (Kuzyakov, 2006).

Essa componente do fluxo de CO₂ do solo é denominada como respiração microbiana. Embora a contribuição direta da macrofauna do solo seja pequena, a respiração microbiana poder elevar bastante, não apenas pela fragmentação e pela pulverização de resíduos das plantas, mas pela predação de alguns grupos de microorganismos. Isto acelera a taxa de retorno e resulta no aumento do fluxo de CO₂ do solo (Kuzyakov, 2006).

As contribuições autotróficas das plantas são as mais importantes para o fluxo de CO₂ do solo pela respiração das raízes. Segundo Kuzyakov (2006), somente três locais de produção do CO₂ são importantes: nas raízes fora do solo, nas raízes dentro do solo e no horizonte O (camada orgânica superficial). Essa separação foi baseada em diversos estudos, que mostraram os processos que contribuem para a produção do CO₂, que são alterados

extremamente na presença das raízes crescentes. Além disso, o horizonte O, que conte os resíduos de plantas mortas na superfície, e que frequentemente contém uma grande quantidade de raízes vivas, é extremamente importante para o fluxo de CO₂ do solo.

A agricultura, através de práticas como o desflorestamento, preparo do solo, calagem e irrigação, têm causado decréscimo no teor de C do solo, decorrente do aumento da taxa de mineralização da MOS (Schlesinger, 1999; Cerri et al., 2001; Read et al., 2001). Paustian et al. (2000) destacaram que a conversão de vegetação nativa em sistemas de produção agrícola, geralmente resulta na redução da MOS.

Os principais fatores que afetam as emissões de CO₂ são as temperaturas do ar e do solo e o teor de umidade do solo (Janssens et al., 2001; Costa et al., 2008b; Chavez et al., 2008), que apresentarão diferentes comportamentos conforme o manejo empregado no sistema de produção.

Neste contexto, o preparo convencional (PC) do solo, composto por intensas atividades de revolvimento, ocasiona o rompimento dos agregados do solo, expondo parte do C protegido no seu interior, tornando-o suscetível a mineralização (Beare et al., 1994; Six et al., 1999; Bronick & Lal, 2005; Wright & Hons, 2005), além de promover um maior contato solo-resíduos e aumentar a temperatura do solo, que favorecem a decomposição da MOS e conseqüentemente as emissões de C-CO₂ (Reicosky & Lindstrom, 1993; Bayer et al., 2000a; Lal, 2003; Lisboa et al., 2006).

Durante a decomposição da MOS, que é composta por 58% de C, os microrganismos utilizam o carbono que necessitam para a síntese de biomassa e o restante perde-se por respiração (Six et al., 2006). Linn & Doran (1984), verificaram que a atividade microbiana do solo é limitada pela restrição de difusão de O₂ através dos poros, quando o solo encontra-se muito úmido, e limita também na condição seca, devido à restrição da solubilidade de substratos de carbono orgânico (Zanchi et al., 2002). O preparo também reduz temporariamente a densidade do solo, aumentando a porosidade total, promovendo condições favoráveis à decomposição da MOS (Sartori et al., 2006). Lovato et al. (2004), estimam que a adição anual de carbono em PC necessária para manter o estoque original de carbono orgânico total é superior a 100% do requerido pelo PD.

Contudo, os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno biológico de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (Amado et al., 2001; Lovato et al. 2004; Bayer et al., 2006; Gomes, 2006; Cerri et al., 2007; Zanatta et

al., 2007; Costa et al., 2008a). O PD, por reduzir o revolvimento do solo e por necessitar ser associado à rotação de culturas, com inclusão de culturas de cobertura, apresenta balanço positivo de carbono no solo no Brasil (Sá et al., 2001; Mielniczuk et al., 2003; Cerri et al., 2004; Machado et al., 2004; Amado et al., 2006; Costa et al., 2008a). Cerri et al. (2007), descrevem que os solos brasileiros acumulam, em média, $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$.

Já algumas pesquisas no sul do Brasil, comparando o PD com o PC, indicam o seqüestro de C variando de $0,12$ a $1,6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Bayer et al., 2000a; Amado et al., 2001; Amado et al., 2006). Além disso, sistemas envolvendo pastagens perenes também têm sido apontados como recuperadores do teor de carbono do solo (Corazza, et al., 1999; Jantalia et al., 2006a).

Verificando diversos trabalhos, encontraram-se resultados distintos quanto à magnitude das emissões de CO_2 em PC e PD. Comparando os sistemas de preparo convencional e o plantio direto, são reportadas maiores emissões em PC (Reicosky et al., 1997), em PD (Hendrix et al., 1998; Chavez et al., 2008) e emissões similares (Sanhueza et al., 1994, Fortin et al., 1996; Campos, 2006; Costa et al., 2008a). Esta variedade de resultados sugere que os efeitos do preparo nas emissões de CO_2 dependeram de outros fatores, que variam de local para local, assim como o tipo de solo (Liu et al., 2006).

4.5 - Técnicas para determinar o fluxo de C- CO_2 no solo.

O uso relativamente recente de métodos de medidas micrometeorológicas avançou consideravelmente no entendimento da dinâmica do carbono no interior do ecossistema, proporcionando a estimativa dos fluxos do CO_2 , a combinação de processos fotossintéticos e respiratórios (Moncrieff et al, 1997; Baldocchi e Wilson, 2001). Entretanto, apesar deste avanço, a medida da respiração total continua incerta (Araújo et al, 2002), e, neste contexto a componente-escala de medidas podem ajudar a confirmar o valor para a respiração total e estimativa da produtividade líquida do ecossistema (Meir e Grace, 2002).

Embora seja crescente a popularidade da técnica de correlação de vórtices turbulentos para avaliar a produtividade primária líquida nos ecossistemas, os métodos clássicos para medidas de CO_2 com câmara e analisador infravermelho ou de armadilhas com alcalóide, permanecem como métodos úteis (Davidson et al, 2002; Baldocchi, 2003). Isso não é somente devido a algumas limitações da técnica de correlações de vórtices turbulentos, e a sua aquisição e instalação de elevados custos, mas em especial, porque os métodos das câmaras permitem que os fluxos de CO_2 sejam medidos diretamente no solo. As técnicas

micrometeorológicas podem somente obter o fluxo de CO₂ total do ecossistema e não podem dividir o fluxo total em compartimentos individuais (Buchmann, 2002).

As primeiras medições realizadas no mundo do dióxido de carbono do ar, voltadas para a estimativa do fluxo do solo, foram iniciadas utilizando-se uma solução alcalina, através do grau de sua neutralização pelo CO₂, que é uma análise de baixo custo, mas muito lenta e inviável para monitoramento contínuo. Depois dos anos 50 foram iniciadas análises do CO₂ utilizando-se analisadores de gás por infravermelho (Infra Red Gas Analyzer – IRGA). Esses analisadores aperfeiçoaram a técnica, pois são sensores de amostragem direta do ar e de rápida aquisição contínua de dados.

O funcionamento é um sistema com uma capsula refletora que tem um emissor em uma extremidade e um receptor na outra. O emissor dispara um feixe de luz no Infravermelho (0,7 – 1,2 μm), cujo feixe entra em contato com o ar amostrado, e este ar com CO₂ absorve parte da radiação. A absorção da radiação pelas moléculas de CO₂ ocorre por conta das propriedades quânticas da molécula, que vibra em contato com o infravermelho. Esta vibração é o resultado da modificação da energia cinética (aumenta sua temperatura interna), reduzindo a intensidade do feixe que chega ao receptor, em relação à emitida (Zanchi, 2004).

4.6 - Potencial de mitigação dos gases de efeito estufa em solos agrícolas

O uso e o manejo do solo podem influenciar o fluxo de GEE em agroecossistemas (Liebig et al., 2005). O IPCC (2007) recomenda que as políticas, medidas e instrumentos para mitigar a mudança do clima devem promover incentivos financeiros e regulamentações para a melhoria do manejo da terra, manutenção do teor de carbono no solo, uso eficiente de fertilizantes e irrigação. Além disso, descreve que não há uma lista de práticas de mitigação que possa ser aplicada universalmente; as práticas precisam ser avaliadas para cada sistema agrícola e suas características.

O preparo do solo, por ocasionar ruptura dos macroagregados e expor o C às enzimas microbianas, é um fator de redução dos estoques de MOS (Reicosky & Lindstrom, 1993). Costa et al. (2008a) relatam que o solo em PC e o solo em PD associado a sistemas de cultura com baixo aporte de resíduos vegetais, apresentam balanço negativo de C, evidenciando que a prática da semeadura direta, por si só, não é uma estratégia potencial de mitigação das emissões de CO₂. A contribuição da agricultura para o efeito estufa antropogênico pode ser

reduzida através do desenvolvimento de sistemas de manejo do solo com capacidade para mitigar as emissões dos gases de GEE (Janzen et al., 1998; Bayer et al., 2000b).

Dentre as práticas de manejo destacam-se o PD e o uso de leguminosas como plantas de cobertura em sistemas de rotação de culturas, contribuindo para mitigação das emissões de CO₂ e de N₂O, a partir do seqüestro de C e maior eficiência no uso e manejo de N (Costa et al., 2008b; Gomes, 2006). Uma grande parcela do potencial de mitigação da agricultura decorre do seqüestro de carbono do solo, o qual tem muitas sinergias com a agricultura sustentável e geralmente reduz a vulnerabilidade à mudança do clima (IPCC, 2007).

Os sistemas conservacionistas de manejo têm despontado como grande alternativa nos solos agrícolas brasileiros para retenção de CO₂ atmosférico (Costa et al., 2008b), de modo que os benefícios ambientais da mitigação das emissões são dependentes da adoção pelos agricultores de práticas de manejo que favoreçam o incremento do teor de MOS (Amado et al., 2008). Um dos principais mecanismos propostos para aumento de C no solo está ligado à formação de macroagregados (proteção física) (Mielniczuk et al., 2003; Six et al., 2006).

4.7 – Umidade e temperatura do solo

A produção de CO₂ no solo é um processo microbiano predominantemente aeróbio e, mantidas constantes as condições de temperatura, umidade, fonte de nutrientes e de C para os microrganismos, as respostas deste processo às modificações promovidas no solo pelas práticas de manejo variarão de acordo com as concentrações de O₂ na rede de poros do solo em cada sistema de manejo. A aração e a gradagem aumentam a aeração do solo e a disponibilidade de C orgânico oxidável aos microrganismos e, portanto, também a atividade microbiana, com conseqüente maior produção e efluxo de CO₂. A maior oxigenação do sistema é conseqüência do rompimento da estrutura do solo e inversão de suas camadas, bem como fracionamento de agregados. A maior disponibilidade de C orgânico está relacionada à maior área de contato de resíduos culturais com o solo e à maior exposição de C orgânico oxidável da MOS, facilitando a atividade microbiana sobre os mesmos. A quantidade e a qualidade dos resíduos aplicados são importantes aspectos nesta fase, definindo o período de atividade microbiana. Como efeitos da aração e da gradagem, a incorporação de resíduos culturais diminui a cobertura do solo, permitindo a ação direta da radiação solar, tendo como conseqüências o aumento de temperatura e a redução de umidade do solo (Salton & Mielniczuk, 1995).

Considerando que a disponibilidade de C orgânico no solo não seja um fator restritivo à atividade microbiana, a associação entre crescente concentração de O₂, de umidade e de temperatura do solo resulta em maior produção e efluxo de CO₂, não havendo impedimento à sua difusão para a atmosfera. O limite de efluxo será controlado pela própria atividade microbiana que, em excesso de C ou de temperatura, pode reduzir a concentração de O₂ no sistema, havendo, por isso, troca do metabolismo microbiano de aeróbio para anaeróbio, reduzindo ou mesmo cessando a produção de CO₂. Em outro cenário, para iguais temperaturas do solo e disponibilidade de C orgânico aos microrganismos, o aumento da umidade do solo pode resultar em deficiência de O₂, também reduzindo o efluxo de CO₂ (Linn & Doran, 1984). Nesse sentido, gráficos de superfície de resposta podem ser úteis na interpretação dos efeitos desses múltiplos fatores no efluxo de CO₂ medido em condições de campo.

A formação de crosta superficial, como resultado do preparo intensivo do solo, incorporando os resíduos culturais e pulverizando o solo, reduz a taxa e o volume de infiltração da água no solo (Duley, 1939). No caminho inverso, a crosta pode impedir que o CO₂ produzido no solo seja difundido para a atmosfera, subestimando os resultados do efluxo de CO₂ nessas condições.

Outro aspecto importante de ser comentado é a perturbação que o preparo do solo promove na continuidade dos poros do solo, além dos efeitos diretos na porosidade total e na relação entre macro e micro poros. Com o preparo, os poros formados não são contínuos (Young & Ritz, 2000), criando câmaras de armazenamento de CO₂, que não difunde para a atmosfera. Nesta condição, também pode ser que os resultados de medições sejam subestimados.

É importante ressaltar que o efluxo de CO₂ imediatamente após as operações de aração e gradagem do solo é composto em grande parte por CO₂ já formado no solo (Reicosky et al., 1997; Kessavalou et al., 1998). Do ponto de vista de dinâmica populacional microbiana, nesse momento as bactérias estão se adaptando às novas condições físicas e de substrato do meio, período no qual a produção de CO₂ não tem relação direta com o aumento da aeração do solo e com a disponibilidade de C aos microrganismos (Paul & Clark, 1996; Manahan, 2000; Zaccheo et al., 2002).

Em outro enfoque, a deposição de resíduos vegetais sobre a superfície do solo tem efeito direto em reduzir a amplitude de variação da temperatura e da umidade do solo. A camada de resíduos sobre o solo tanto impede a ação direta da radiação solar, evitando a

evaporação e mantendo a umidade do solo, quanto cria um micro ambiente entre o solo e a atmosfera logo acima da atmosfera, no qual as amplitudes térmicas são reduzidas, além de efetivamente reduzir a temperatura do solo em relação a um solo descoberto (Baver et al., 1972; Taylor & Ashcroft, 1972; Salton & Mielniczuk, 1995). Nestas condições, o efeito líquido esperado é um menor efluxo de CO₂, em virtude de uma menor temperatura e maior umidade.

Com a aplicação de resíduos vegetais na superfície do solo, a influência na disponibilidade de C aos microrganismos dependerá, de forma significativa, da quantidade e da qualidade do resíduo aplicado, bem como do estado desse resíduo no momento da aplicação. A solubilidade de compostos orgânicos em água presentes nos resíduos vegetais é outro fator que afeta a disponibilidade de C aos microrganismos do sistema solo (Zaccheo et al., 2002). Estes aspectos são importantes porque, com a aplicação dos resíduos vegetais na superfície do solo, menor é a área passível de colonização pelos microrganismos do solo, portanto, do ponto de vista da decomposição por estes, menor é a produção de CO₂. Flessa et al. (2002) estudaram em laboratório a importância da microflora nativa do resíduo na sua decomposição e observaram que durante a aplicação na superfície do solo, cerca de 76 % do C do resíduo foi transformado em CO₂ em 50 dias, sendo a decomposição realizada por microrganismos já existentes no resíduo ou introduzidos pelo ar e não pelos microrganismos de solo, os quais não influenciaram na decomposição.

Em síntese, os sistemas de manejo do solo influenciam a concentração de O₂ nos poros do solo, a temperatura e a umidade do solo, fatores estes proximais ao processo de produção de CO₂, e, desta forma, também influenciam a magnitude de efluxo deste gás do solo para a atmosfera.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O estudo será conduzido em áreas localizadas na região oeste do Pará, mais especificamente no planalto do município de Santarém, estando às áreas de campo agrícola, capoeira e pastagem degradada situadas no entorno do Km 40 da PA-370, a pastagem ativa, por outro lado, está situada próximo ao Km 25 da BR-163, mais detalhes dos locais de estudo estão sumarizados na tabela 1, estas localidades são caracterizadas por um clima do tipo Ami – clima megatérmico tropical úmido, segundo a classificação de Koppen; a precipitação média anual é de 2096mm; as médias anuais de temperatura oscilam entre 24°C a 28°C; e os solos predominantes são Latossolos amarelos distróficos.

A pesquisa está inserida em um projeto de grande envergadura denominado “Sustentabilidade dos usos do solo na Amazônia Oriental”, sob a coordenação de Joice Ferreira (2009), o qual apresenta como foco central o entendimento e previsão de respostas da biodiversidade á mudanças ambientais. A seleção das microbacias foi realizada considerando os principais eixos de heterogeneidade, tanto na parte ambiental quanto socioeconômica.

O principal critério para seleção das microbacias individuais foi o total de cobertura florestal remanescente (ou conversamente, o desmatamento histórico acumulado). As áreas escolhidas formam um gradiente de desmatamento, ou seja, diferentes usos da terra, pois vai de floresta, para capoeira, passa para área de agricultura e também possuem bases de estudo em pasto.

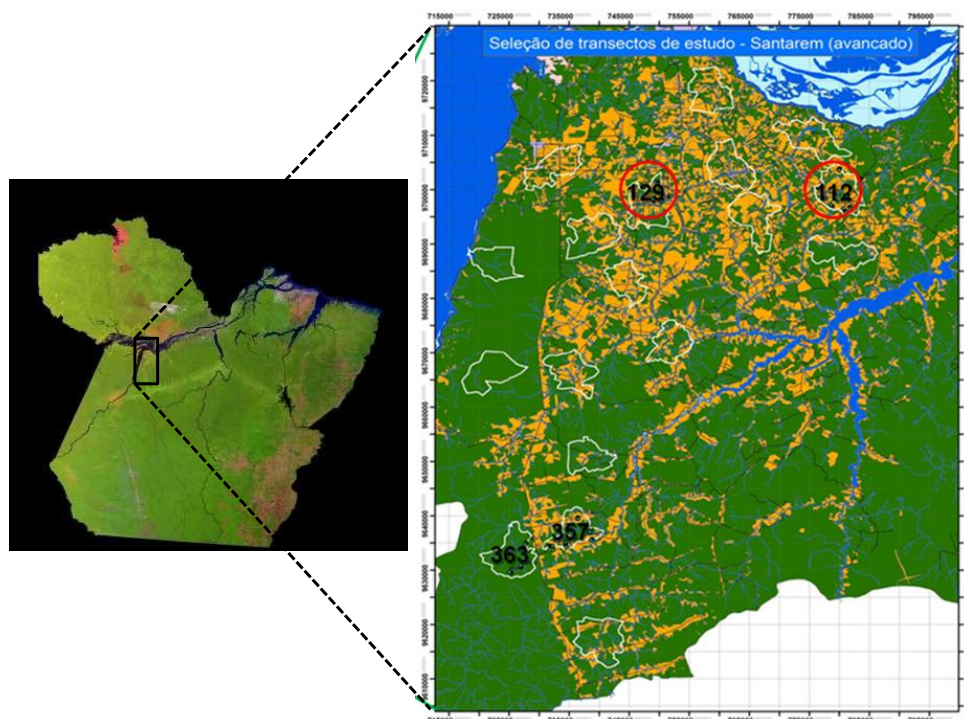


Figura 1. Localização dos transectos de estudo.

Tabela 1. Especificação das microbacias de estudo e seus respectivos transectos (uso da terra).

Microbacia	Uso da terra	Extensão da área (hectare)	Histórico	Uso prévio	Coordenadas geográficas (Lat/long)
112	Campo agrícola (Plantio convencional e direto)	380	-10 anos de cultivo de soja sob preparo convencional - Preparo direto (rotação soja/milho)	Pastagem	-54°29'57.6 W -2°43'18.54 S
	Capoeira	10	Capoeira com cerca de 15 anos	Pastagem	-54°29'33.2 W -2°44'19.11 S
	Pastagem degradada	50	Cerca de 3 anos sem manejo	Floresta primária	-54°29'57.5 W -2°44'20.87 S
129	Pastagem ativa	150	Pastagem com cerca de 7 anos	Floresta primária	-54°46'35.4 W -2°43'33.03 S

5.2 - Desenho amostral

O uso de um desenho amostral estratificado permite que uma ampla variedade de propriedades rurais seja representada na paisagem, abrangendo tanto pequenos quanto grandes produtores e também todos os principais tipos de uso da terra e práticas de manejo da região.

Nas áreas de capoeira, pastagem ativa e degradada foi considerado o fator sazonalidade, portanto, as coletas foram feitas nas subamostras (50mx300m) das microbacias no período chuvoso sendo os meses mais representativo deste período (fevereiro, março e abril) e no período seco com maior intensidade (setembro, outubro e novembro), com duas coletas por mês com 9 repetições em cada transecto. Na área de agricultura, por sua vez, o acompanhamento será mais detalhado e de curta duração entre o período, pois além de fazer uma análise comparativa entre PC e PD, foram feitas coletas sequenciadas, sendo uma coleta (9 réplicas) antes do cultivo, durante a sementeira com 5 coletas subsequentes quando os proprietários das áreas forem realizar o plantio de suas culturas, com retorno na primeira semana após o plantio realizando duas coletas, também na segunda semana após o plantio com uma coleta e após a colheita com mais uma coleta visando de que maneira os implementos agrícolas modificam as taxas nos efluxos de C-CO₂ do solo.

Para o conjunto de dados ambientais e de biodiversidade cada ponto amostral representa um transecto padronizado de 300 m de comprimento por 50 m de largura, ou seja, o estudo é conduzido em uma área de 15000 m² (Figura 3), formada por três pontos (0, 150 e 300), onde em cada ponto foram instaladas três câmaras distando 10 metros uma em relação à outra para a realização das medidas de efluxo de C-CO₂, totalizando 9 câmaras para cada transecto.

5.3 - Sistema de amostragem

As medições de CO₂ emitido pelo solo serão feitas utilizando-se da metodologia de câmaras dinâmica de concentração e analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo Licor-820. Os sinais de resposta dos detectores serão capturados a frequência de 5s ou menos. Os fluxos de câmaras serão calculados através de regressão linear da concentração pelo intervalo de tempo das medidas.

Apenas o intervalo inicial das medições será usado para determinar os fluxos na adequação para evitar a curvatura observada durante o aumento da concentração de CO₂ em função do tempo de amostra que é resultado da diluição do ar dentro da câmara utilizada e do efeito de redução do fluxo solo-atmosfera devido às altas concentrações de CO₂ dentro da câmara.

Os fluxos de solo serão medidos utilizando-se de um sistema portátil constituído por um IRGA acoplado por um tubo de teflon a câmara dinâmica de concentração sendo

encaixada no colar de PVC, um palmtop (HP – Pavilion Entertainment PC, com aplicativo computacional Licor, uma bomba de 12 V para gerar um fluxo contínuo de ar sendo monitorado um fluxo de ar próximo de 1,2 L/min (Keller et al., 2005), um inversor de potência e uma bateria grande servindo como fonte para o IRGA e uma bateria pequena como fonte de energia à bomba de ar configurando o sistema de medidas conforme ilustrado na (figura 3).

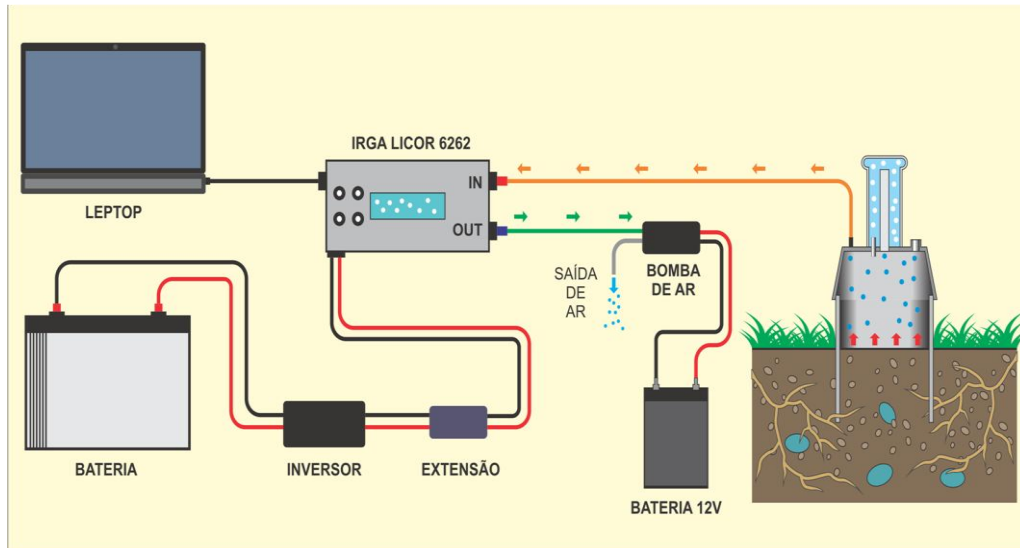


Figura 2. Arranjo experimental utilizado para medição do fluxo.

O palmtop permite que os sinais de aumento da concentração da câmara sejam visualizados em tempo real de amostragem. Juntamente com o fluxo de CO₂ do solo, variáveis ambientais (temperatura do ar e do solo, e quantidade de água no solo) serão avaliadas para análises estatísticas de correlação de fluxos.

5.4 - Cálculo do fluxo de CO₂

A respiração do solo (R_s) foi calculada como a taxa de variação de concentração de CO₂ pela unidade de tempo e a área sob a região coberta pela câmara, como mostra a equação abaixo:

$$R_s = \frac{(C_n - C_{n-1}) \times (V)}{T_n \times A} \quad (1)$$

R_s = respiração do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$);

C_{n-1} = concentração (ppm) de CO_2 no tempo inicial ($n-1$);

C_n = concentração (ppm) de CO_2 no tempo final (n)

V = volume da câmara (m^3);

A = área de cobertura (m^2);

T_n = intervalo de tempo (s).

O cálculo do fluxo de CO_2 descrito acima foi determinado através de um aplicativo computacional (Licor -2010) desenvolvido por (Fagner, 2010), essas relações matemáticas expressas na equação (1) foram inseridas neste aplicativo o que permitirá que esta ferramenta, em tempo real, determine o fluxo de CO_2 do solo em $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, precisando para isso somente definir o intervalo com maior homogeneidade da evolução de CO_2 no interior da câmara, fornecendo na sequência as variáveis necessárias, como a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e a altura média da câmara (cm) obtida a partir dos três diferentes pontos da base do anel.

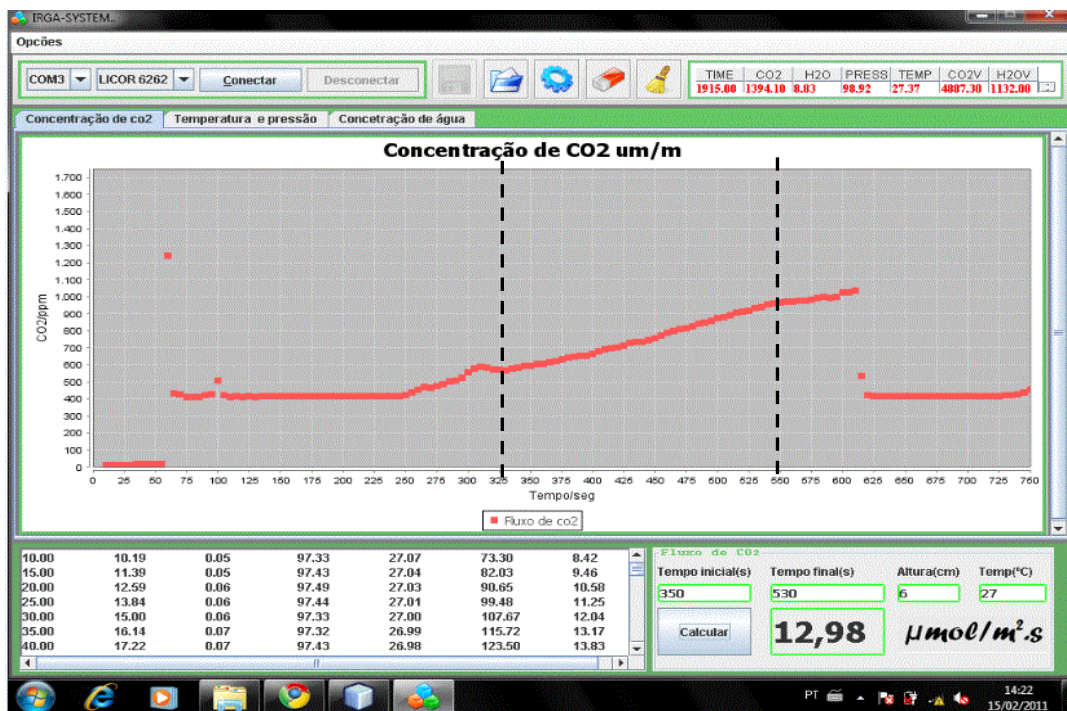


Figura 3. Interface gráfica do programa computacional Licor, Fagner (2010).

Para obter o efluxo de C-CO₂ do solo em mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹ foi feita uma relação com um fator de conversão no valor de 43,2.

5.5 – Elementos meteorológicos

Para correlacionar a variação do efluxo de CO₂ do solo com o microclima da região foram mensura(dos parâmetros como temperatura do ar e solo, umidade do solo e precipitação conforme pode ser observado na tabela 2, segundo descrição a seguir:

Tabela 2 – Coletas de dados climáticos.

Variável	Equipamento	Local de coletas	Frequência
Umidade do solo	Trado Holandês	Pontos de coleta	Semanal
Temperatura do solo	Termômetro digital	Próximo aos pontos de coleta	Semanal
Temperatura do ar	Termohigrômetro	Próximo aos pontos de coleta	Semanal
Precipitação	Pluviômetro	Transectos de estudo	Semanal

Para as medidas de temperatura do solo foi utilizado um termômetro digital da marca Taylor que foi introduzido no solo à profundidade de 5 cm, adjacente à câmara do aparelho analisador de gás por infravermelho (modelo LI-cor 820), nos mesmos pontos em que foi feita a coleta do efluxo de CO₂ do solo.

Para mensurar a umidade do solo, todos os pontos de medidas do efluxo de CO₂ foram amostrados, para tal fim utilizou-se um trado Holandês, que permitiu retirar amostras do solo a 10 cm de profundidade que foram colocadas logo em seguida em sacos plásticos hermeticamente fechados, após as coletas do solo, sendo no mesmo dia pesado em uma balança de precisão, para obter o peso úmido de cada amostra de solo. Para a obtenção do peso seco foi utilizado o método de secagem em estufa a 105°C por, aproximadamente, 48 horas, resultando na umidade gravimétrica do solo, ou seja, o percentual de água no solo que é dada pela equação:

$$U_g = \frac{(P_{umido} - P_{seco})}{P_{seco}} \quad (2)$$

Para então determinar os espaços preenchidos por água (PPA), utilizando a equação abaixo:

$$\text{PPA (\%)} = \frac{(\text{U}_g \times \text{D}_s)}{\text{P}_T} \quad (3)$$

Onde:

U_g = Umidade gravimétrica (g g^{-1})

D_s = Densidade do solo (g m^{-3})

P_T = Porosidade total do solo (g g^{-1})

A porosidade do solo foi obtida pela relação:

$$\text{P}_T = 1 - \left(\frac{\text{D}_s}{\text{D}_p} \right) \quad (4)$$

Onde:

D_s = Densidade do solo (g m^{-3})

D_p = Densidade partícula, considerada igual a 2,65 (g m^{-3})

5.6 - Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa Statistica versão 6.0 para o Windows, admitindo-se $P < 0,05$. Todos os dados deste estudo foram analisados quanto a distribuição, a normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogov-Smirnov. O teste utilizado demonstrou que os dados apresentavam distribuição normal. Após verificada a normalidade dos dados foi aplicada a estatística paramétrica. O efeito da sazonalidade e cobertura do solo nos efluxo de C-CO₂ do solo foi investigado através da análise de variância (ANOVA). Quando observado algum efeito significativo ($p < 0,05$), foram realizados testes de Tukey.

A dependência do efluxo de C-CO₂ em relação à temperatura e umidade do solo foi avaliada a partir da significância dos coeficientes de correlação de regressões lineares. As emissões de CO₂ entre os sistemas de preparo convencional e direto serão avaliadas através da análise de variância (ANOVA) detectando diferenças entre os tratamentos será aplicado o Teste de Tukey para quantificar a magnitude dessa diferença, a 5% de significância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Condições microclimáticas em relação ao plantio direto e convencional

O regime diário de chuvas no período estudado é apresentado na Figura 4. As condições microclimáticas (temperatura e precipitação) registradas no período avaliado são determinantes na realização dos processos como, aração, gradagem, semeadura e a colheita durante todo o preparo do solo em ambos os sistemas de manejo.

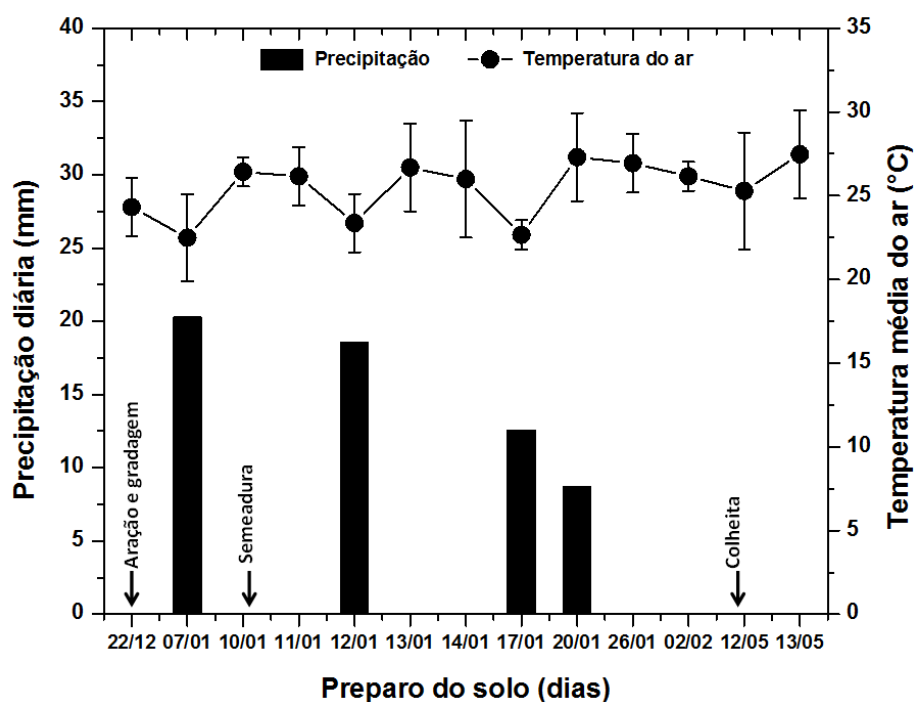


Figura 4. Distribuição da precipitação diária e variação da temperatura média do ar referente ao plantio direto (PD) e convencional (PC) durante o período de avaliação (22/12/2010 a 13/05/2011).

O solo seco é a condição propícia para que as etapas do preparo do solo sejam executadas de forma eficaz, portanto, nessas datas não foram registrados eventos de precipitação (figura 4). Não foi evidenciada ocorrência de déficit hídrico, o que permitiu manter níveis adequados de umidade no solo, portanto é de se esperar que esta variável não seja limitante à atividade microbiana responsável pelo efluxo de C-CO₂.

6.1.1. Comparação do efluxo de CO₂ entre o plantio direto e convencional

O sistema de plantio direto (PD) promoveu efluxo de C-CO₂ do solo superior ($p < 0,05$) ao sistema de plantio convencional (PC). Notou-se durante todas as etapas de preparo do solo (aração + gradagem, semeadura e colheita) que a execução destes processos condicionaram elevados valores de efluxos de C-CO₂ do solo durante o período de avaliação, conforme mostra a (figura 4).

Durante todo o período de avaliação foi observado efluxos de C-CO₂ do solo mais elevados no sistema sob PC (Figura 5) quando comparado a PD, com médias de 196.1 ± 25.9 e 142.4 ± 27 mg C-CO₂ m⁻².h⁻¹ respectivamente (Tabela 4), exceto nos dias 26/01/11 e 02/02/11, nos quais o efluxo de C-CO₂ do solo registrado no PD foi superior.

Valores próximos, embora inferiores aos obtidos neste trabalho, foram reportados em estudo que avaliou a emissão de CO₂ derivada da aração e gradagem, no qual a emissão média do efluxo de CO₂ do solo observada foi maior no tratamento que incluía a realização dos processos supracitados (La scala et al., 2001).

Pode-se observar ainda na (figura 5) que os maiores valores de emissão no efluxo de C-CO₂ do solo foram registrados nos dias 22/12/10 e 07/01/11 durante o preparo do solo, sendo 250 e 345 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹ para o PC, respectivamente, ocorrendo estes valores poucos dias após a execução de aração + gradagem e aplicação de calcário (4t CaCO₃ ha⁻¹) no dia 07/01/11 que gerou um pulso (figura 5) no efluxo de C-CO₂ no valor de $341,3 \pm 31,5$ mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹ como o manejo da calagem foi facilitada pela mobilização do solo antes do cultivo da soja, este processo, possivelmente, criou condições favoráveis ao processo de decomposição e mineralização do C no solo justificando o elevado pico no efluxo de C-CO₂ (Anghinoni e Salet, 2000).

A realização das subsequentes operações de gradagem aradora geraram o valor mais elevado ($341,3$ mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹) em relação aos demais dias avaliados. Já na etapa de semeadura, os valores de efluxo de C-CO₂ registrados teve de aumento gradual tanto no PC quanto no PD (Figura 5) o que pode estar associada a intensa atividade autotrófica induzida pela aplicação substancial (308 kg NPK/ha) de fertilizante neste período.

Aumentos no efluxo de C-CO₂ do solo podem ser registrados logo após a realização do preparo do solo através da aração e gradagem, pois o efluxo de C-CO₂ em áreas preparadas incrementou de dois a quatro vezes acima dos níveis do efluxo antes do preparo, mas o aumento é de curta duração e o efluxo de CO₂ em ambos os sistemas de preparo (PC e PD) se equivalem após decorridas algumas horas (Ellert e Janzen,1995).

No sistema PC a aração remove e inverte a camada inferior e superior, neste processo ocorre à fratura da estrutura do solo, porém ainda se mantém grandes torrões de solo. A gradagem, por sua vez, promove a ruptura dos macroagregados expondo a matéria orgânica no interior destes agregados ao ataque de microrganismos heterotróficos maximizando o processo de mineralização do C no solo (Reicosky et al., 1997).

Os efeitos marcantes do preparo do solo são: incorporação de resíduos, oxigenação do solo e diminuição da umidade na superfície, pois aumenta a rugosidade superficial que se associada ao vento contribui para esta diminuição (Reicosky et al., 1997).

O preparo do solo geralmente condiciona aumento de curta duração na atividade microbiana gerando maior respiração e liberação de C-CO₂ do solo (Amado et al., 2001; Campos et al., 2006). Portanto, é esperado que haja valores mais elevados de efluxo de C-CO₂ com o preparo do solo. No entanto, não existe um consenso na literatura sobre a maior emissão de C-CO₂ do solo sob PC em comparação com o PD (Amado et al., 2001; Campos et al., 2006).

Incrementos no estoque do carbono orgânico total (COT), carbono lábil, maior umidade, maior estoque nitrogênio total, menor amplitude térmica, maior quantidade de resíduos aportados ao solo podem favorecer a maior atividade biológica sob PD. Neste caso o efluxo de C-CO₂ do solo passa a ser um indicador de qualidade do solo (Amado et al.,2001).

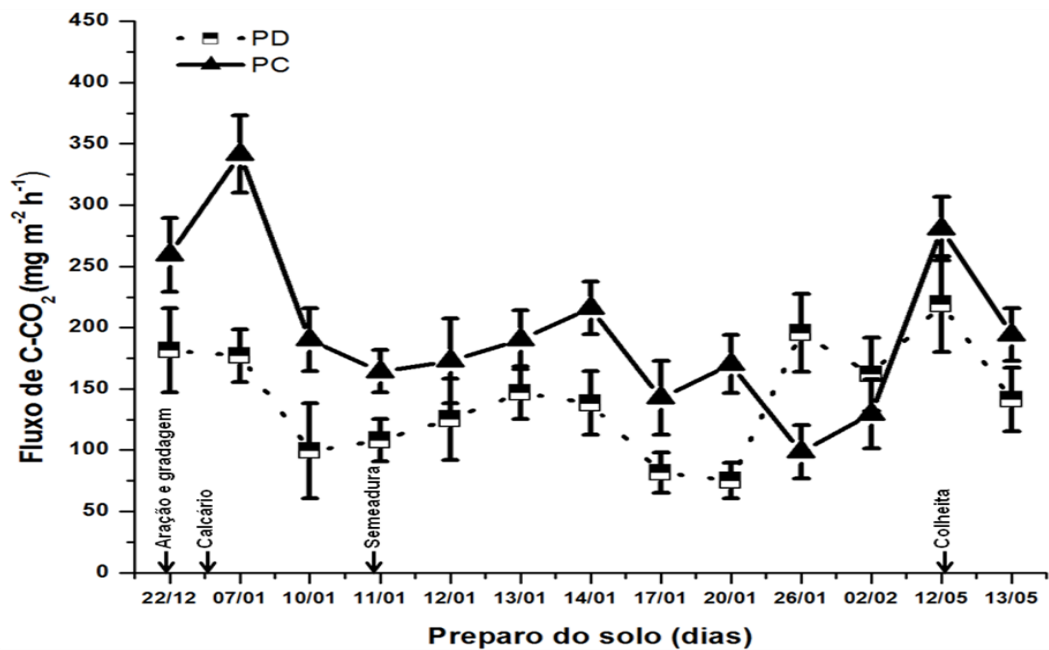


Figura 5. Efluxo de C-CO₂ do solo nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação soja/milho. As barras indicam o desvio padrão da média.

Reicosky et al. (1997), reportaram que o revolvimento do solo no sistema PC promove a mineralização da matéria orgânica com o conseqüente aumento no efluxo de C-CO₂ do solo. Esse aumento no efluxo ocorre imediatamente após o preparo do solo, sendo que rapidamente se configura uma acentuada redução no efluxo, o que pode ocorrer em minutos ou horas. Este comportamento foi verificado neste estudo (Figura 5), com um efluxo elevado após as intervenções no solo (aração + gradagem, aplicação de calcário, semeadura e colheita) e decréscimo no efluxo após decorrido um tempo a partir destes processos.

A explicação que respalda o fenômeno é que esse imediato aumento inicial no efluxo é resultante de processo físico do solo. O arado rompe a estrutura do solo, e o fraturamento facilita a difusão de C-CO₂, como a concentração de C-CO₂ no solo é, aproximadamente, 2 vezes maior que no ar (Batjes, 1996), com o preparo do solo ocorre uma difusão do ar do solo em direção à atmosfera, liberando C-CO₂ e adicionando O₂.

Foi observado, neste trabalho, o rápido aumento no valor do efluxo de C-CO₂ do solo após o preparo do solo conforme sugeriram (Reicosky et al., 1997; Aslam et al., 2000). A primeira medida do efluxo de C-CO₂ foi realizada logo após a operação com arado para detectar o comportamento da emissão imediata. Com a gradagem se verificou um rápido aumento no efluxo de C-CO₂ no solo em PC, provavelmente em decorrência da ação dos processos biológicos. A gradagem rompe os agregados do solo e libera a matéria orgânica que pode se encontrar dentro de diferentes agregados do solo, principalmente macroagregados e microagregados oclusos dentro dos macroagregados (Six et al., 2000), tornando acessível o carbono particulado intragregados à decomposição dos microrganismos. Em solos temperados, o principal mecanismo de proteção do carbono em agroecossistemas é a proteção física no interior dos agregados. Em solos tropicais, por outro lado, como os Latossolos, a proteção química pode ser o principal mecanismo de proteção de carbono (Zinn et al., 2005a; Deneff et al., 2007). Neste caso, o impacto do preparo sobre o efluxo de C-CO₂ pode ser menor do que o verificado em solos temperados.

No processo de colheita da soja que foi realizada em (10/05/2011) em ambos os sistemas de manejo foram registrados, nos dias subsequentes (12/05/2011), elevados valores de efluxo de C-CO₂, este padrão no comportamento das emissões de C-CO₂ tem sido reportado por alguns autores analisando a cultura da soja alguns dias após a colheita (Recous, 1995; Campos, 2006; Oorts et al., 2007). Estes elevados níveis de emissões aparentemente estão relacionados às maiores concentrações de carbono lábil, produto da senescência nodular, que é consumido e utilizado como substrato elementar para o crescimento das populações

microbianas, favorecendo desta maneira à totalidade de microrganismos do solo. As raízes da soja remanescentes no solo após a colheita continuam a emitir C-CO₂ durante o processo da sua decomposição, além disso, ocorre a quebra e corte das raízes durante o processo de colheita provocando o aumento no efluxo de CCO₂ do solo. (Recous, 1995; Oorts et al., 2007; Varner et al., 2003).

Tabela 3. Valores médios do fluxo de C-CO₂ (mg m⁻² h⁻¹), desvio padrão (DP), poros do solo preenchidos por água (PPA,%) e temperatura do solo à 5 cm de profundidade sob plantio direto e convencional durante o período de avaliação.

Data (Preparo)	Plantio direto				Plantio convencional			
	Fluxo de CO ₂	DP	PPA %	T °C	Fluxo de CO ₂	DP	PPA %	T °C
22/12/2010	181.4	34.6	48.3	29.3	259.2	30.2	32.7	31.6
07/01/2011	177.1	21.6	52.2	28.4	341.3	31.5	33.3	33.1
10/01/2011	99.4	38.9	39.8	27.4	190.1	25.9	36.4	29.0
11/01/2011	108.0	17.3	42.9	29.7	164.2	17.3	32.7	30.2
12/01/2011	125.3	33.3	42.5	30.4	172.8	34.6	35.9	31.7
31/01/2011	146.9	21.6	46.3	31.9	190.1	23.8	39.4	30.9
14/01/2011	138.2	25.9	46.5	28.9	216.0	21.6	44.3	30.0
17/01/2011	81.6	16.4	38.8	29.4	142.6	30.2	41.3	31.0
20/01/2011	75.2	14.3	39.3	28.4	170.2	23.8	42.6	28.6
26/01/2011	195.7	32.0	68.3	31.2	98.5	21.6	25.9	28.7
02/02/2011	162.0	29.8	63.9	29.7	129.6	28.1	30.6	30.7
12/05/2011	219.0	38.9	64.3	31.8	280.8	25.9	30.1	29.7
13/05/2011	141.3	25.9	48.8	29.6	194.4	21.6	29.9	30.2
Média	142.4	27.0	49.4	29.7	196.1	25.9	35.0	30.4

6.1.2 – Correlação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo

O efluxo de C-CO₂ do solo não sofre interferência somente por processos físicos e biológicos no solo, mas, também, pelos fatores ambientais como a temperatura e a umidade do solo, que são apontados como fatores de relevância no controle das taxas de efluxo de C-CO₂ do solo. Neste trabalho encontrou-se alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,65$) e elevada significância ($P < 0,01$) entre o fluxo de C-CO₂ e temperatura do solo em PC, contrastando com o PD onde não houve correlação entre estas variáveis (Figura 6), indicando que há uma relação mais direta do efluxo de C-CO₂ em relação à temperatura do solo em PC, e que outros fatores, além da temperatura do solo, podem estar influenciando o efluxo de C-

CO₂ do solo em PD . Dessa forma, a variação da temperatura média diária do solo explicou 65 % da variação no efluxo C-CO₂ do solo em PC.

Neste caso, a ausência de cobertura do solo em PC, ao permitir incidência direta de raios solares, aumentou a temperatura do solo, que, por sua vez, intensificou a atividade microbiana e, portanto, o efluxo de C-CO₂ do solo para a atmosfera.

A temperatura do solo como fator controlador do efluxo de C-CO₂ do solo é um tema que tem despertado grande importância, sendo utilizada em modelos analíticos e estatísticos nas previsões da emissão desse gás em solos de diversos ambientes (Moncrieff e Fang, 2001; Subke et al., 2003).

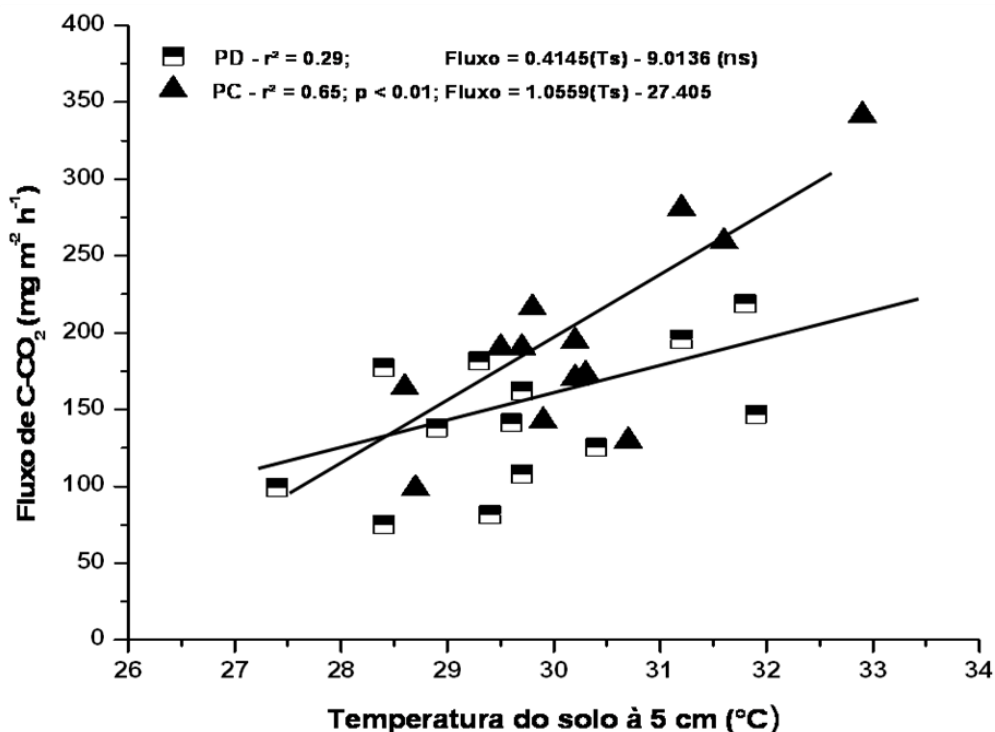


Figura 6. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a temperatura do solo sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.

No solo em PD, o aporte de superficial de resíduos vegetais, mediante seus efeitos de diminuição na incidência direta de raios solares sobre o solo e conseqüente redução na perda de água (Salton e Mielniczuk, 1995) atuou no sentido de inibir o aumento da temperatura do solo em PC e, portanto, em reduzir o efluxo C-CO₂ do solo à atmosfera.

A produção do CO₂ no solo é basicamente resultado da atividade radicular e microbiana, a qual, em não havendo limitação de outros parâmetros (oxigênio, umidade, pH, compostos orgânicos, nutrientes etc.) é regulada pela temperatura do solo. Esta influência não

somente decorre das taxas de reações das células microbianas, mas também características físico-químicas do meio podem interferir como, a viscosidade e a tensão superficial da água do solo que afetam o processo de difusão de gases do solo à atmosfera (Paul e Clark, 1996).

Outro aspecto importante entre os sistemas de PC e PD quanto a produção de CO₂ é a composição microbiana e sua localização no perfil do solo, como destacado por Doram (1987) e Vargas (2002). Estes autores encontraram maiores populações de organismos desnitrificadores e de fungos em camadas superficiais do solo em PD e de microrganismos aeróbicos ao longo de toda a camada arável do solo em PC. Estes aspectos estão associados com os efeitos dos sistemas de manejo do solo na distribuição de C e N ao longo do perfil do solo. Contudo, as alterações físicas desencadeadas pelo preparo, e que refletem na capacidade do solo em reter mais ou menos água, tem forte efeito sobre a composição e distribuição de microrganismos no perfil do solo.

6.1.3. Correlação entre o efluxo de CO₂ e a umidade do solo

No sistema de PD foi observada uma tendência de maior umidade e conseqüentemente maior porosidade preenchida por água (PPA), sendo acompanhada por menor efluxo de C-CO₂, em relação ao PC, sendo que neste último sistema, a PPA reduziu drasticamente com as operações de preparo do solo (Tabela 3). A umidade do solo (PPA) durante o período de avaliação explicou 70 % e 51 %, respectivamente, em ambos os sistemas (Figura 8) a variabilidade do efluxo de C-CO₂ do solo. Essa correlação positiva significativa ($p < 0,05$) nos sistemas de PD pode estar associada com a manutenção de resíduos na superfície do solo, evitando a incidência direta da radiação solar sobre o solo, e maior capacidade de armazenar água do solo em PD (Salton & Mielniczuk, 1995; Costa et al., 2003; Tabela 3), devido ao seu maior estoque de C orgânico (Bayer et al., 2000b), condições estas que podem explicar parte dos resultados obtidos no presente estudo.

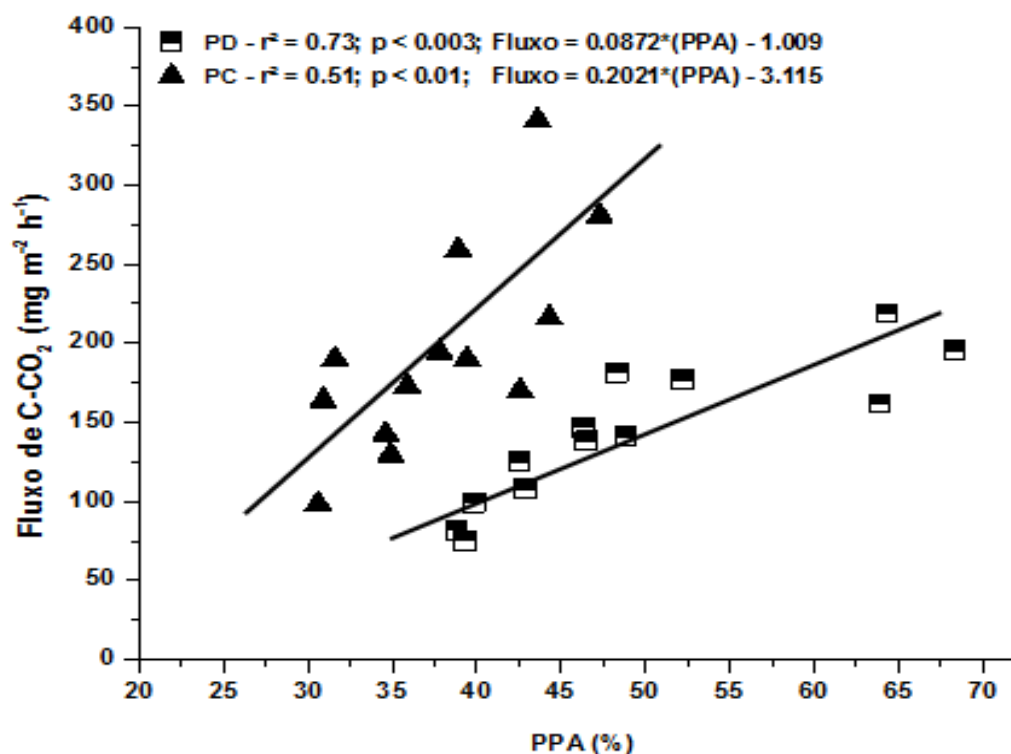


Figura 7. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e os poros preenchidos por água (PPA) sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.

No PC, também, foi observada correlação linear significativa entre efluxo de C-CO₂ e umidade do solo ($r^2=0,51$) (Figura 7), o que indicou, neste caso, maior dependência entre o efluxo de C-CO₂ no solo em PC com a umidade, pela ausência dos resíduos de culturas na superfície do solo, o qual aumenta a temperatura do mesmo. Alguns estudos têm demonstrado que o efluxo de C-CO₂ do solo indica atividade microbiana no solo, aumentando exponencialmente ou linearmente com a temperatura e umidade do solo sendo por isto utilizado em modelos matemáticos de ecossistemas como uma constante (Xu & Qi, 2001).

Além do exposto em relação à temperatura e umidade do solo com efluxo de C-CO₂, Ouyang & Zheng (2000), enfatizaram, que a radiação solar é um dos processos importantes que governam os ciclos diurnos da temperatura do solo e a evaporação da água, controlando as taxas de produção de C-CO₂ no interior do solo, e assim as emissões de C-CO₂ do solo para a atmosfera

6.2. Variação temporal do efluxo de C-CO₂ entre as coberturas do solo

Os efluxos de C-CO₂ do solo para atmosfera, de modo geral, oscilaram entre 60 e 350 mg C m⁻² h⁻¹, sendo mais elevados no período chuvoso. Estes valores estão dentro do

mesmo intervalo de grandeza verificado por outros autores para a região amazônica, entre 80 e 400 mg C m⁻² h⁻¹ (Feigl, 1994; Salimon et al., 2004; Fernandes et al., 2002; Davidson e Trumbore, 1995) e também para ecossistemas de clima temperado, onde os valores de efluxos oscilaram entre 50 e 300 mg C m⁻² h⁻¹ (Rayment e Jarvis, 2000; Savage e Davidson, 2001).

Pode-se visualizar os valores para cada local e cada mês na Tabela 4.

6.3. Variação sazonal do efluxo de C-CO₂ nos diferentes tipos de cobertura do solo

Os fluxos mais elevados foram registrados durante o período chuvoso (de fevereiro a abril) sendo o maior pico observado no mês de abril. Os fluxos mais baixos, por sua vez, foram verificados no mês de setembro, um dos meses onde a seca é mais pronunciada do ano (Figura 8, Tabela 4). Padrão sazonal similar a este, também, foi reportado por Davidson et al. (2000) em florestas e pastagens no leste do Pará e também por Fernandes et al. (2000) em Rondônia, este fato pode ter ocorrido em resposta às mudanças na temperatura e umidade do solo, refletindo alterações químicas que compõem os processos respiratórios que ocorrem simultaneamente em diferentes profundidades dentro do perfil do solo. Conforme estes autores a variabilidade espacial pode ser explicada provavelmente pela distribuição diferenciada das raízes nas camadas do solo.

Observa-se a que a variabilidade do efluxo C-CO₂ do solo no decorrer do ano segue a mesma curva sazonal da pluviosidade (Figura 9) e que, por conseguinte, interfere na umidade do solo condicionando, por efeito, o efluxo de C-CO₂, este padrão sazonal no efluxo de C-CO₂ estar fortemente associado com o processo físico de drenagem da água que percolando no interior do solo tenderá a ocupar os espaços porosos que estão preenchidos pelo gás provocando, na sequência, a imediata expulsão do CO₂ estocado no solo à atmosfera (Smith et al., 2003).

No mês de abril (período chuvoso), os fluxos registrados na pastagem ativa foram 4 vezes maiores em relação ao mês de setembro (período seco). A espécie dominante de gramínea destas tem toda sua biomassa aérea na forma de folhas. Quando esta biomassa se reduz no período seco a taxa fotossintética também diminui, e provavelmente o mesmo processo se dá com a respiração radicular e microbiana na rizosfera, provocando uma redução no efluxo total de CO₂ do solo (Salimon et al., 2004)

No estudo de Salimon et al., (2004), realizado na floresta Amazônica do Acre, os fluxos da pastagem, na época chuvosa, foram 4,5 vezes superiores do que na época seca. Nas

florestas, no entanto, as variações sazonais foram menores, sendo de 2,1 a 2,7 na floresta madura, e de 1,6 a 1,7 na floresta secundária.

Neste estudo, a variação sazonal da pastagem foi também alta, com um fluxo 2,8 vezes maior na chuva do que na seca. Nos ecossistemas nativos, no entanto, foi encontrada uma variação sazonal bem mais pronunciada, com fluxos 1,6 e 1,7 vezes mais altos na época chuvosa em relação à época seca, na capoeira e na pastagem degradada, respectivamente

Nas pastagens estudadas por Salimon et al., (2004) no Acre, os fluxos anuais foram 70% mais altos quando comparadas às florestas maduras.

Tabela 4. Valores médios do efluxo de CO₂ do solo e desvio padrão da média (variação espacial) em floresta primária, capoeira (n=18), pastagem ativa (n=18) e pastagem degradada (n=18).

Ano	Mês	Precipitação	Efluxo de C-CO ₂ do solo (mg m ⁻² h ⁻¹)		
			Capoeira	Pastagem ativa	Pastagem degradada
2011	Fevereiro	133,6	194,4 ± 17,3	315,4 ± 34,6	116,7 ± 21,6
	Março	294,7	224,6 ± 38,9	302,4 ± 21,6	103,7 ± 34,6
	Abril	404,6	185,7 ± 30,2	345,6 ± 25,9	151,2 ± 30,2
	Setembro	13,2	125,2 ± 21,6	116,6 ± 21,6	64,8 ± 25,9
	Outubro	45,9	129,6 ± 30,2	103,7 ± 17,3	69,1 ± 21,6
	Novembro	0	103,6 ± 38,9	129,6 ± 21,6	86,4 ± 34,6

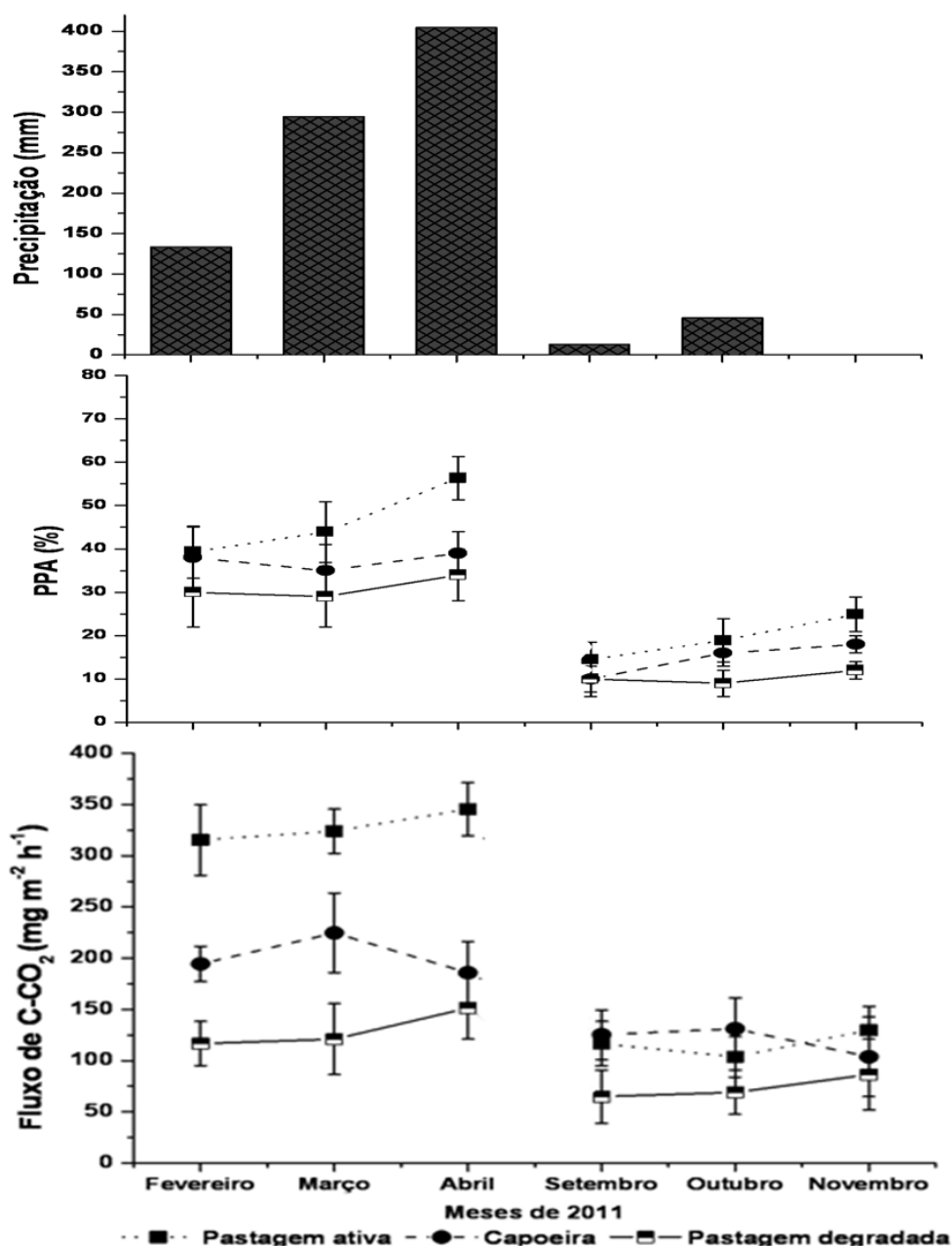


Figura 8. Variação sazonal do efluxo de C-CO₂ do solo, umidade do solo e precipitação total mensal. As barras de erro representam o desvio padrão da variação espacial em capoeira (n=18), pastagem ativa (n=18) e pastagem degradada (n=18).

No mês de abril todos os valores de efluxos de C-CO₂ medidos foram maiores do que a média dos efluxos no período seco (setembro, outubro e novembro). Nesses meses do período seco, os pontos de medida apresentaram baixo efluxo de C-CO₂ (Figura 8). Isto sugere que no início, o aumento da umidade favoreceu a produção de C-CO₂ em todos os pontos medidos. Porém, depois de decorrido um tempo, o próprio aumento da decomposição da matéria orgânica (com produção de CO₂) pode ter alterado o substrato diminuindo assim a emissão de CO₂. Desta forma, o aumento da umidade já não apresentou efeito homogêneo

sobre a produção de CO₂. A propósito, Davidson et al. (1998) e Savage e Davidson (2001) também encontram este pulso na emissão de CO₂ após o rápido umedecimento do solo seco, similar ao encontrado neste estudo. Ressalte-se que Kieft et al. (1987) encontraram que 1/3 a 1/4 da biomassa microbiana no solo é destruída em um ciclo de um período de solo seco para um período de solo úmido. Assim, o rápido umedecimento do solo liberaria mais carbono microbiano para o meio extracelular, o que faria com que a população de microorganismos sobreviventes se reproduzisse mais rapidamente. Consequentemente, este crescimento promoveria maior produção de CO₂ e, conseqüente, maior efluxo de C-CO₂ do solo.

Embora a umidade do solo (PPA) tenha sido maior na pastagem ativa do que em florestas na estação seca (Figura 8), a maior redução do efluxo de C-CO₂ do solo nas pastagens indica que as gramíneas podem ser mais sensíveis às mudanças sazonais no potencial de água entre solo e ar.

Uma vez que os solos sob pastagens são mais argilosos na superfície provavelmente em decorrência da erosão do horizonte A da floresta, pode ser que embora haja mais água no solo, esta não esteja disponível as plantas (Salimon et al., 2004). A vegetação da floresta pode ter também suas raízes mais profundas (Nesptad et al., 1994), permitindo acesso a águas mais profundas do solo durante a estação seca, diminuindo assim a sazonalidade do efluxo de C-CO₂ sobre florestas (Nesptad et al., 2008).

Portanto, acredita-se que a variação do conteúdo de água no solo e na atmosfera devem ser os principais responsáveis pela sazonalidade observada e também pela maior amplitude de variação do efluxo de C-CO₂ do solo na pastagem ativa. A influência da temperatura do solo nos efluxos deve ser menor, uma vez que sua amplitude de variação é menor do que a observada no efluxo e na pluviosidade.

6.4. Comparação do efluxo de CO₂ entre as coberturas do solo

Os valores de efluxos de C-CO₂ do solo na capoeira no período chuvoso e seco oscilaram entre 168,5 e 216 mg C m⁻² h⁻¹ e 99,4 e 142,6 mg C m⁻² h⁻¹, na pastagem os valores oscilaram entre 254,9 e 311 mg C m⁻² h⁻¹ e 86,4 e 129,6 mg C m⁻² h⁻¹, já na pastagem degradada os valores variaram entre 121 e 172,8 mg C m⁻² h⁻¹ e 38,9 e 86,4 mg C m⁻² h⁻¹. O menor valor médio do efluxo de C-CO₂ do solo durante o período seco foi obtido na pastagem degradada e o maior foi observado na pastagem ativa. Para o período chuvoso, por sua vez, a

maior média do efluxo de C-CO₂ do solo foi registrada na pastagem ativa e a menor em pastagem degradada, segundo observa-se na Tabela 5.

Os efluxo de C-CO₂ do solo, de forma geral, são mais elevados no período chuvoso, sendo que a umidade e a temperatura do solo foram os fatores de maior controle na produção do gás expresso pela (Figura 8). Em todos os tipos de cobertura do solo foi observado diferenças estatisticamente significativas em relação ao fator sazonal (Tabela 5). A pastagem ativa apresentou, em média, maiores efluxos de C-CO₂ do solo para a atmosfera em relação às florestas e pastagem degradada (Figura 9).

Tabela 5. Valores médios do efluxo de CO₂ e desvio padrão da média em floresta primária, capoeira, pastagem ativa e pastagem degradada durante o período chuvoso e seco (mg m⁻² h⁻¹).

Sazonalidade	Tipo de cobertura do solo			
	Floresta primária	Capoeira	Pastagem ativa	Pastagem degradada
Chuvoso	181,4 ± 25,9aA	201,6 ± 34,5aA	321,2 ± 27,4aB	123,8 ± 28,8aC
Seco	129,6 ± 17,3bA	120,0 ± 31,1bA	116,6 ± 21,6bA	73,4 ± 27,4bB
Média total	155,5 ± 21,6	160,8 ± 32,8	218,9 ± 24,5	98,6 ± 28,1

* Letras diferentes na mesma coluna (minúsculas) e mesma linha (maiúsculas) representam diferenças estatísticas significativas (Test Tukey, 0.05).

* Dados de floresta primária obtidos de Keller et al., (2005).

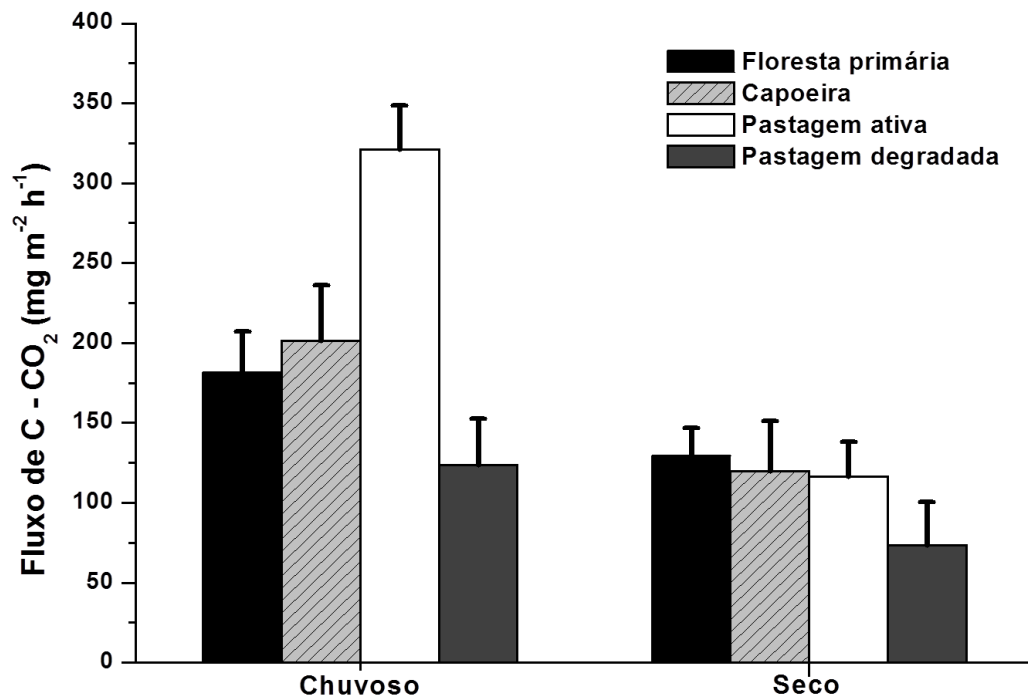


Figura 9. Variação sazonal no efluxo de C-CO₂ do solo em floresta primária, capoeira, pastagem ativa e pastagem degradada.

As pastagens, em média, apresentaram maiores efluxos de C-CO₂ do solo para atmosfera do que florestas intactas e secundárias na maioria dos meses amostrados (Tabela 5). Resultados próximos foram verificados por (Salimon et al., 2004; Feigl et al., 1995 e Fernandes et al., 2002) onde os valores de efluxos registrados foram mais elevados em relação as florestas na Amazônia Sul – Ocidental. Embora, este não foi o caso no leste do Pará (Davidson et al., 2000), onde a floresta apresentou um fluxo maior do que as pastagens.

Os valores reportados por (Feigl,1994) para uma pastagem de 13 anos na estação seca entre 91 e 182 mg C m⁻² h⁻¹ são próximos aos observados no presente estudo, para um período similar. Fernandes et al., (2002) também observa valores compatíveis, em média de 100 mg C m⁻² h⁻¹ na período seco e entre 200 e 350 mg C m⁻² h⁻¹ no chuvoso, para pastagens. Davidson et al., (2000) encontraram valores abaixo de 100 mg C m⁻² h⁻¹ no período seco e entre 200 e 400 mg C m⁻² h⁻¹ no período chuvoso.

A discrepância nos valores entre pastagens ativas observados por (Davidson et al., 2000) e o valores do presente estudo, embora ambos os estudos sendo realizados na Amazônia Oriental, pode ser explicado pelo manejo do fertilizante nitrogenado (250 kg NPK ha⁻¹) na pastagem ativa do presente estudo, fato que pode ter acelerado a produtividade e, conseqüentemente, induzido a componente autotrófica, aumentando dessa forma o efluxo de C-CO₂ do solo à atmosfera (Salimon et al., 2004; Fernandes et al., 2002).

6.5. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ e a umidade do solo em capoeira, pastagem ativa e degradada.

No período seco, a relação entre o efluxo de C-CO₂ e a porcentagem de poros preenchidos por água foi significativamente positiva na parcela sob capoeira ($r^2= 0,71$; $p<0,004$) , pastagem degradada ($r^2= 0,55$; $p<0,02$), conforme pode ser visto na Figura 10. No período chuvoso, por sua vez, somente as parcelas sob capoeira e pastagem ativa foi observado correlação estatisticamente significativa com ($r^2= 0,44$; $p<0,04$; $r^2= 0,65$; $p<0,007$), respectivamente.

Parcela sob capoeira

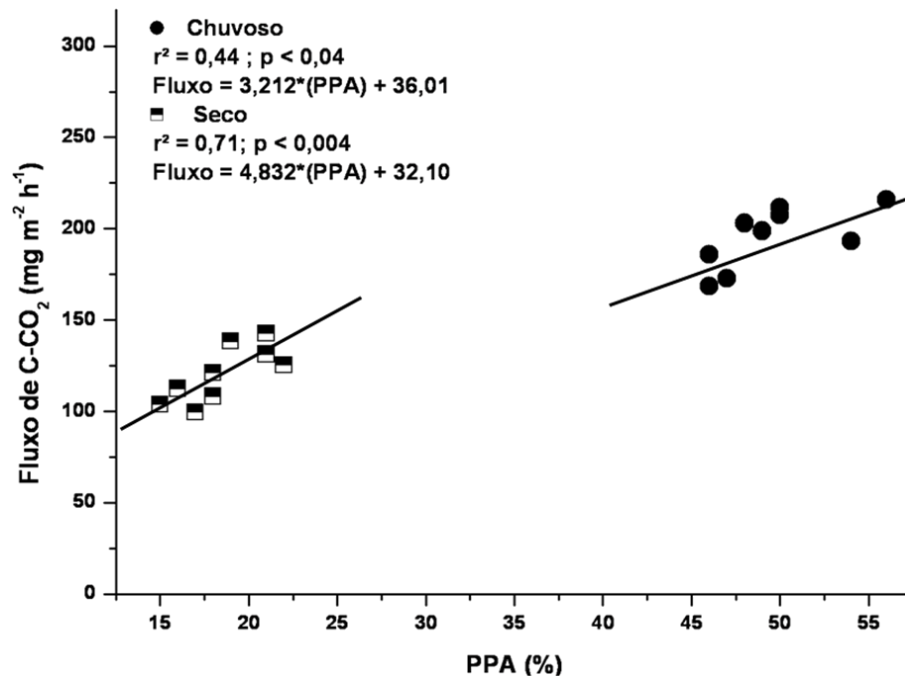


Figura 10. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de capoeira durante o período chuvoso e seco sob capoeira.

Parcela sob pastagem ativa

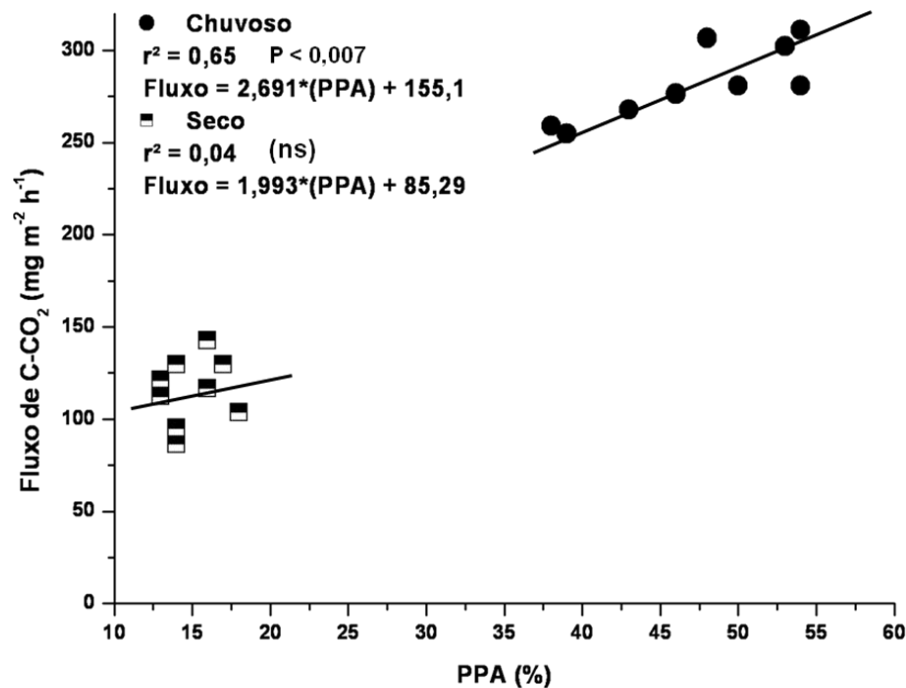


Figura 11. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de pastagem ativa durante o período chuvoso e seco sob pastagem ativa.

Parcela sob pastagem degradada

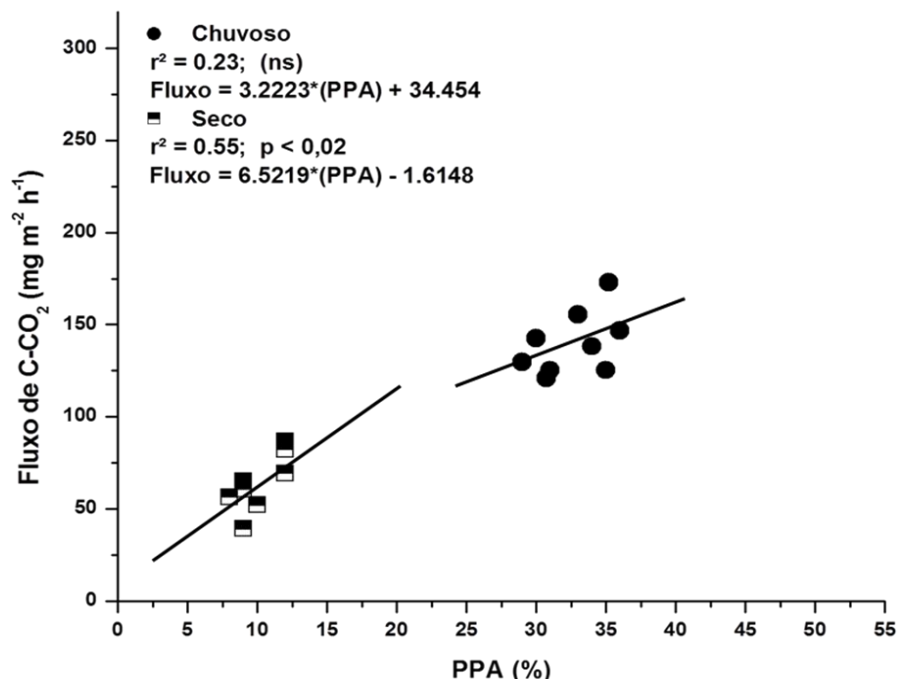


Figura 12. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) sob a área de pastagem degradada durante o período chuvoso e seco sob pastagem degradada.

A umidade do solo interfere de duas maneiras no efluxo de C-CO₂ do solo para a atmosfera: 1) no suplemento de nutrientes que só são disponíveis às bactérias quando dissolvidos no filme de água no solo e; 2) no conteúdo de água nos poros, que controla a difusão dos gases através do solo. Quando totalmente seco, o solo é composto somente de partículas sólidas e ar. O volume total de espaço preenchido por ar é chamado de poro. Quando há déficit hídrico as partículas do solo perdem a película de umidade, dificultando a difusão de íons e deixando os poros livres para a difusão de gases. Esta condição facilita a difusão dos gases, mas altera o metabolismo das bactérias (ABER; MELILLO, 2001; MATSON; HARRIS, 1995) e conseqüentemente a degradação da matéria orgânica e a liberação de C-CO₂. Quando a quantidade de água contida no solo aumenta, a fração total de poros preenchidos por água aumenta, restaurando a difusão de íons e dificultando a difusão de gases (ABER e MELILIO, 2001).

6.6. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo em capoeira, pastagem ativa e degradada.

De modo geral a temperatura do solo variou pouco no período seco como chuvoso. Os valores de temperatura do solo à 5 cm de profundidade nos diferentes tipos de cobertura do solo foram diferentes, porém com baixa amplitude térmica tanto no período chuvoso quanto seco.

A relação entre o efluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo, nas estações estudadas, resultou em uma relação linear significativa ($r^2=0,63$; $p<0,05$) para um nível de significância de 5% somente na área sob pastagem ativa apresentadas na Figura 14 abaixo.

Na área de capoeira não foi observado nenhum padrão de dependência entre a variação do efluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo, este fato pode indicar que outros parâmetros exerceram influencia na variabilidade da respiração do solo nesta área.

Alguns estudos mostram que a atividade microbiana no solo aumenta linearmente com a temperatura (BEKKU et al., 2003; SUBKE et al.,2003). Por outro lado, altas temperaturas podem influenciar a velocidade das reações enzimáticas da microbiota do solo, restringindo sua atividade metabólica (FANG e MONCRIEFF,2001).

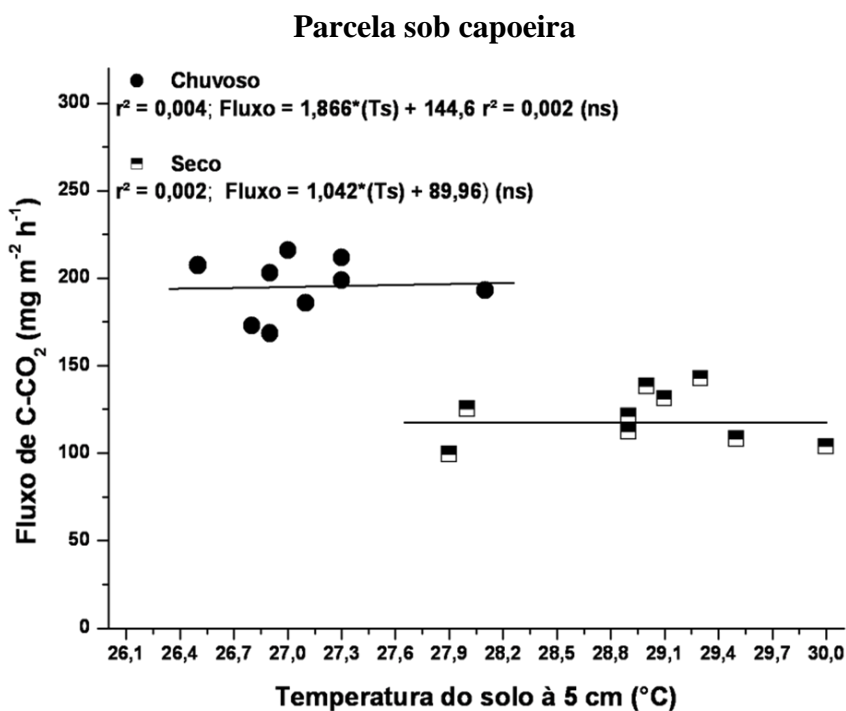


Figura 13. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de capoeira durante o período chuvoso e seco.

Parcela sob pastagem ativa

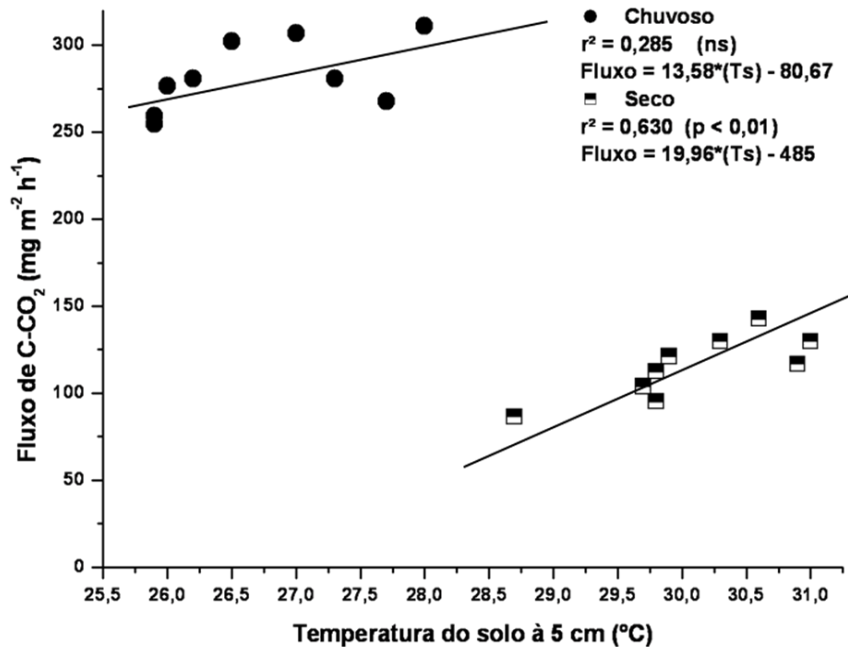


Figura 14. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de pastagem ativa durante o período chuvoso e seco

Parcela sob pastagem degradada

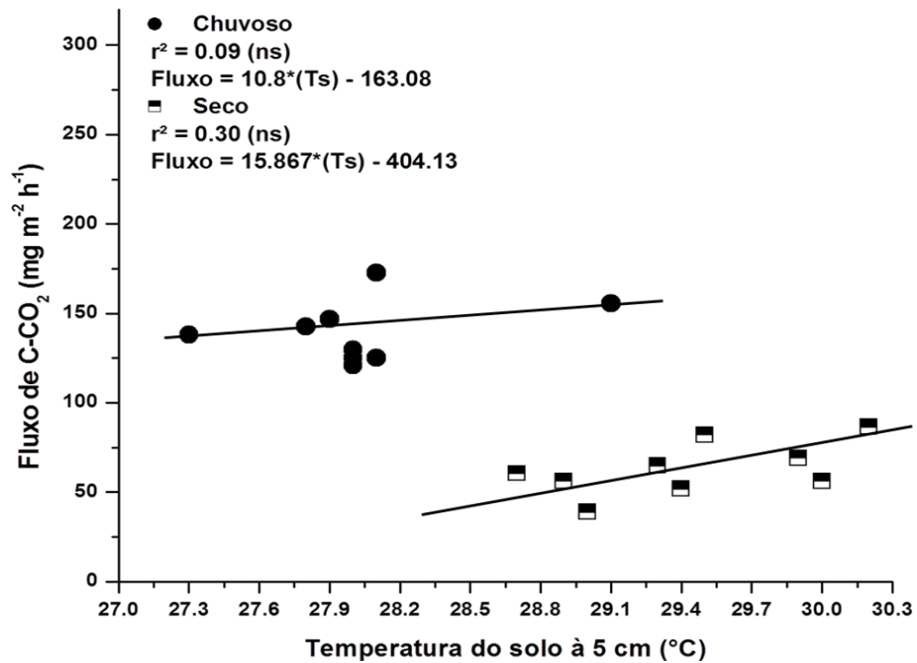


Figura 15. Correlação entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a temperatura do solo sob a área de pastagem degradada durante o período chuvoso e seco.

É possível observar que existe relação entre o efluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo quando o solo encontra-se em situações de maior umidade. No período chuvoso, todas as parcelas estudadas apresentaram relação significativa entre o efluxo de C-CO₂ e a temperatura. No período seco, a parcela sob pastagem ativa foi a única a apresentar relação significativa. Esta parcela, no período seco, apresentou maior umidade no solo do que as demais parcelas. É possível que exista um nível mínimo de umidade no solo para que o aumento da temperatura provoque o aumento do metabolismo. Em todas as parcelas estudadas a temperatura do solo não foi alta, chegando ao máximo a 33°C. Isto exclui a possibilidade de restrição do metabolismo microbiano devido a altas temperaturas.

7. CONCLUSÃO

Com relação ao campo agrícola com sistema de plantio convencional (PC) e direto (PD).

Os resultados do presente trabalho evidenciam que o sistema PD tem potencial de mitigar em 37,7% a participação agrícola no efluxo de C-CO₂ de solo com base no cultivo da soja sem a intensa mobilização do solo como ocorre no PC. A variação da temperatura do solo respondeu por 65% da variabilidade do fluxo de C-CO₂ no PC. A variação da umidade do solo explicou em 73% e 51% a variação do fluxo de C-CO₂ no PD e PC, respectivamente. Estes resultados indicam que a umidade e temperatura do solo foram fatores controladores das emissões de C-CO₂ do solo para a atmosfera, pois estes parâmetros afetaram diretamente a atividade microbiana do solo.

Com relação às áreas de florestas e pastagens.

Os resultados, também, demonstram que a pastagem ativa apresentou os maiores efluxos de C-CO₂ do solo para atmosfera em relação às florestas e pastagem degradada na Região Oeste do Pará. Além disso, foi demonstrado que tanto as pastagens como florestas apresentam uma sazonalidade neste fluxo, que deve estar relacionada principalmente aos padrões de precipitação e potencial de água entre solo e ar.

Foi observado forte correlação entre o efluxo e a umidade do solo tanto da capoeira quanto nas pastagens, já a temperatura do solo foi um fator controlador do efluxo apenas na pastagem ativa. O valor médio do fluxo de C-CO₂ obtido na pastagem ativa foi de 218,9 mg C m⁻² h⁻¹ valor 40,7% superior em relação a floresta primária sendo de 155,5 mg C m⁻² h⁻¹

Finalmente, os resultados aqui apresentados sugerem que o plantio convencional e o manejo de pastagem ativa, atividades fortemente associadas a ação antrópica, potencializam alterações no balanço biogeoquímico do carbono nesses ecossistemas, uma vez que, o efluxo de C-CO₂ do solo está relacionado à produtividade primária destes ecossistemas.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I. & SALET, R.L. **Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado.** In: KAMINSKI, J. Coord. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto.** Pelotas: SBCS-Núcleo Regional Sul 2000, 123p. (SBCS-Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4).

ABER, J. D.; MELILLO, J. M. **Terrestrial Ecosystems.** Philadelphia: Saunders College Publishing, 1991

AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; FABRIZZI, K.; NICOLOSO, R. S. **O solo agrícola e o Mercado Internacional de Carbono.** In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 625-636.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. **Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 189-197, 2001.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.; VEIGA, M. **Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil.** *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 35, p. 1599-1607, 2006.

ASLAM, T.; CHOUDHARY, M.A.; SAGGAR, S. **Influence of land use management on CO₂ emissions from a silt loam soil in New Zealand.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77, p. 257-262, 2000.

BAEDE, A. P. M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. **Climate Change 2001: The Scientific Basis.** Cambridge University Press: Cambridge, 2001.

BATJES, N.H. **Total carbon and nitrogen in the soils of the world.** *European Journal Soil Science*. 47, p. 151-163, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. **Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil.** *Soil & Tillage Research*, v. 54, p. 101-109, 2000a.

BAYER, C. **Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 599-607, 2000b.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. **Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till.** *Soil & Tillage Research*, v. 86, p. 237-245, 2006.

BAYER, C. **Desafios no manejo da matéria orgânica do solo e seqüestro de C na agricultura conservacionista.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,

31.,2007,Gramado.SBCS,2007.Disponívelem:<<http://www6.ufrgs.br/cbcs/palestras/CimelioBayer.pdf>>. Acessado em 15 de fevereiro. 2011.

BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. **Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils**. Soil Science Society of America Journal, v. 58, p. 787-795. 1994.

BEKKU, Y.; NAKATSUBO, T.; KUME, A.; ADACHI, M.; KOIZUMI, H. **Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils**. Applied Soil Ecology, Belfied, v. 22,n3,p.205-210, mar. 2003.

BONO, A.; ALVAREZ, R.; BUSCHIAZZO, D. E.; CANTET, R. J. C. **Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 72, n. 4, p. 1140-1149, 2008.

BRONICK, C. J.; LAL, R. **Soil structure and management: a review**. Geoderma, v.124, p. 3-22, 2005.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. **Carbon sequestration in soils**. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v.54, n.1, p.382-389, 1999.

BATJES NH, DIJKSHOORN JA. **Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region**. Geoderma, 89, 273-286, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. **Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, n.3, p.777-783, May/June 1992.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CAST - Council for Agricultural Science and Technology. **Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture**. Task Force Report, n. 141, 2004. 120 p.

CERRI C. C.; BERNOUX M.; CARVALHO M. C. S.; VOLKOFF, B. **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem**. Relatórios de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001, 41 p.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIDSON, E. A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A. **A ciência do solo e o seqüestro de carbono**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 29, p. 29-34, 2004.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Seqüestro de carbono em solos na América Latina**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 40-44, 2007.

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*, v. 64, p. 83-99, 2007.

CHAVEZ, L.F. **Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul.** 2007. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CHAVEZ, L. F.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ESCOBAR, L. F.; FIORIN, J.; LA SCALA Jr., N. **Emissões de Curto Prazo de CO₂ do Solo sob Sistemas de Preparo em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. Anais., 2008. 1 CD-ROM.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 425-432, 1999. 76

COSTA, F.S. et al. **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, F. S. **Estoque de Carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro.** 2005. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. **Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.323-332, 2008a.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. **Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação.** In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Metropole, 2008b. p. 545-559.

COX, PM; BETTS, RA; JONES, CD (2000). **Acceleration of global warming due to carbon cycle feedbacks in a coupled climate model.** *Nature*, 408: 184-187.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. **Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperature mixed hardwood forest.** *Global Change Biology*, v.4, n.2, p.217-227, 1998.

DAVIDSON, EA.; TRUMBORE, S.E. **Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils os the eastern Amazônia.** *Tellus*, v.47B, p.550-565, 1995.

DAVIDSON EA, VERCHOT, LV, CATTANIO JH, ACKERMAN IL, CARVALHO JEM. **Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazônia.** *Biogeochemistry*, 48, 53-69, 2000.

DAVIDSON, E.A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L.V.; NAVARRO, R. **Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 113, p.21 – 37, 2002a.

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

DENEFF, K.; SIX, J.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. **Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy.** Soil Science Society of America Journal. 68, p. 1935-1944, 2004.

DORAN, J.W. **Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils.** Biology and Fertility of Soils, New York, v.5, n.1, p.68-75, 1987.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. **Calculation organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes.** Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v.75, n.4, p.529-538, 1995.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 374 p., 2005.

EMBRAPA & CNPMA. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de óxido nitroso proveniente de solos agrícolas.** Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2006.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. **The dependence of soil CO₂ efflux on temperature.** Soil Biology & Biochemistry, v.33, n.2, p.155-165, 2001.

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. **Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes.** Soil Biology and Biochemistry, v.27, n.11, p.1467-1472, 1995.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. **Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon.** Geoderma, Minnesota, v. 107, n. 3/4, p. 227-241, June 2002.

FEARNSIDE, P. M. **Queimadas: Fogo e a emissão de gases do efeito estufa de ecossistemas florestais da Amazônia brasileira.** Estudos Avançados, v. 16, n.44, 2002.

FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; LASCANO, C.E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. & VERA, R.R. **Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas.** Nature, 371:236-238, 1994. GIFFORD, R.M. The global carbon cycle: a viewpoint on the missing sink. Aust. J. Plant Physiol., 21:1-15, 1994.

FOLEY, J.A.; COSTA, M.H.; DELIRE, C.; ROMANKUTTY, N & SNYDER, P (2003). **Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect climate.** Frontiers in Ecology and Environment, 1: 38-4

FOLEY, J. A. ET AL. (2007), **Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin**, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 25–32.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. **Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, p. 1541-1547, 1996.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GRACE, J (2001). **Carbon cycle**. *Encyclopedia of Biodiversity*, 1: 609-629

HENDRIX, P. F.; HAN, C. R.; GROFFMAN, P. M. **Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations**. *Soil & Tillage Research*, v. 12, p. 135-148, 1998.

HOUGHTON, R.A. **Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850**. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B.A. eds. *Soils and global change*. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995. p.45-65.

HOUGHTON, R. 2003. **Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different?** *Global Change Biology*, 9:500-509

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; CELEUMANS, R. **Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model**. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 106, p. 61-69, 2001.

JANTALIA, C. P.; TARRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Acumulação de carbono no solo em pastagens de Brachiaria**. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. O. (Org.). **Manejo de sistemas agrícolas: Impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006a. p. 157-170.

KIEFT.T.L; SOROKER, E.; FIRESTONE, M.K. **Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted**. *Soil Biology & Biochemistry* , v.19, n.2, p.119-126, 1987.

KUZYAKOV, Y. **Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods**. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 38, p. 425-448, 2006.

LA SCALA JR, N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T. **Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latossol in southern Brazil.** Soil & Tillage Research, 62, p. 163-166, 2001.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C. **Towards improving the global data base on soil carbon.** In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B.A. eds. Soils and Global Change. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995b.

LAL, R., KIMBLE; J. M., FOLLETT, R. F.; COLE, C. V. **The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect.** Sleeping Bear Press, 1998. p. 1-128.

LAL, R. **Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect.** Critical Review in Plant Science, v. 22(2), p. 151-184, 2003.

LAL, R. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security.** Science, v. 304, p. 1623-1626, 2004a.

LAL, R. **Agricultural activities and the global carbon cycle.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 70, p. 103-116, 2004b.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. **Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and no tilled soil.** Soil Science Society of America Journal, v. 48, p. 1267-1272, 1984.

LISBOA, C. C.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; CONANT, R. T.; FEIGL, B. E. **Emissão de CO₂ de solos submetidos a um aumento de temperatura.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Anais., 2006. 1 CD-ROM.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. **The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil.** Plant Soil, v. 280, p. 177-188, 2006.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. **Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 175-187, 2004.

LUO, Z.K.; WANG, E. L.; SUN, O. J. **Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis.** Geoderma, Amsterdam, v. 155, n. 3/4, p. 211-223, 2010

MACHADO, P.L.O.; BODDEY, R.; MADARI, B.; RODRIGUES, J.R.; URQUIAGA, S. **Os solos brasileiros e o seqüestro de carbono.** Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 21-25, 2004.

MATSON, P. A.; HARRIS, R. C. **Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water.** Cambridge: EdBlackwel, 1995.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F. & DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo.** In CURI, N., MARQUES, J. J., GUILHERME, L. R. G., LIMA, J. M., LOPES, A. S., ALVAREZ, V. H. (Org.). *Tópicos em Ciência do solo* 3, 2003, p. 209-248.

MONCRIEFF, J. B.; FANG, C. **The dependence of soil CO₂ efflux on temperature.** *Soil Biology & Biochemistry*, Australia, v.33, n.33, p.155-65, 2001.

NEPSTAD, D.C.; DE CARBALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.; LEFEBVRE, P.; NEGREIROS, G.H.; DA SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.; VIEIRA, S. **The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures.** *Nature*, v.372, p.666-669, 1994.

NEPSTAD, D. C., C. M. STICKLER, AND OTHERS (2008), **Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point,** *Philosophical Transactions B*, 363(1498), 1737.

OORTS, K.; MERCKX, R.; GREHAN, E.; LABREUCHE, J.; NICOLARDOT, B. **Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France,** *Soil & Tillage Research*, (2007), doi:10.1016/j.still.2006.12.002

OUYANG, Y.; ZHENG, C. **Surficial processes and CO₂ flux in soil ecosystem.** *Journal of Hydrology*, 234, p. 54-70, 2000

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry.** 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996, 340p

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. **Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils.** *Biogeochemistry*, v. 48, p. 147-163, 2000.

RASTOGI, M.; SINGH, S.; PATHAK, H. **Emission of carbon dioxide from soil.** *Current Science*, Bangalore, v.82, n. 5, p. 510-517, Mar. 2002.

RAYMENT, M.B.; JARVIS, P.G. **Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest.** *Soil Biology & Biochemistry*, 32, p. 35-45, 2000.

READ, D.; BEERLING, D.; CANNELL, M.; COX, P.; CURRAN, P.; GRACE, J.; INESON, P.; JARVIS, P.; MALHI, Y.; POWLSON, D.; SHEPHERD, J.; WOODWARD, I. **The role of land carbon sinks in mitigating global climate change.** London: Royal Society, 2001. 27 p.

REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, N. J. **Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil.** *Agronomy Journal*. v.85, p.1237-1245, 1993.

REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. **Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems.** *Soil & Tillage Research*, v. 41, p.105-118, 1997.

REICOSKY, D. C. **Conservation Tillage and Carbon Cycling: Soil as a Source or**

Sink for Carbon. USDA – Agricultural Research Service, North Central Soil Conservation Research Laboratory, Morris, Minnesota, 1997.

REICOSKY, D.C.; REEVES, D. W.; PRIOR, S.A.; RUNION, G.B.; ROGERS, H.H.; RAPER, R.L. **Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.52, n. 3/4, p. 153-165, Oct. 1999.

RECOUS, S. **Réponse des matières organiques des sols aux changements atmosphériques globaux. II. Effet de la température sur la minéralisation d'un résidu végétal (maïs) et de la matière organique des sols.** Ecosystèmes et Changements Globaux: Lês Dossiers de l'Environnement de l'INRA, 8, p. 81-85, 1995

RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. **The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux: a modified model.** Plant and soil, Dordrecht, v.268, n. 1/2, p.21-33, Jan. 2005.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. **Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol.** Soil Science Society of America Journal, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SALIMON, C.I.; DAVIDSON, E.A.; VICTORIA, R.L.; MELO, A.W.F. **CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia.** Global Change Biology. v.10, p.833-843, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00776.x. 2004.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.

SANHUEZA, E.; CÁRDENAS, L.; DONOSO, L.; SANTANA, M. **Effect of plowing on CO₂, CO, CH₄, N₂O, and NO fluxes from tropical savannah soils.** Journal of Geophysical Research, v. 99(D8), p. 16429-16434, 1994.

SARTORI, F.; LAL, R.; EBINGER, M. H.; PARRISH, D. J. **Potencial soil carbon sequestration and CO₂ offset by dedicated energy crops in the USA.** Critical Reviews in Plant Science, v. 25, p. 441-472, 2006.

SAVAGE, K.E.; DAVIDSON, E.A. **Interannual variation of soil respiration in two New England forests.** Global Biogeochemical Cycles, v.15, n.2, p.337-350, 2001.

SCHLESINGER, W. H. **Carbon and Agriculture – Carbon sequestration in soils.** Science, 284: 2095, 1999.

SCHLESINGER, W H (1997): **Biogeochemistry – An Analysis of Global Change .** 2nd. ed. Academic Press.

SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. **Matéria orgânica do solo.** In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. **Biologia dos solos do cerrado.** Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p.465-524.

SIQUEIRA, J.O. **Biologia do solo**. Lavras, ESAL/ FAEPE, 1993.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. **Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. **Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture**. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, p. 2099-2103, 2000.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. **Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems**. *Soil Science Society America Journal*, v. 70, p. 555-569, 2006.

SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J.; REY, A. **Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes**. *European Journal of Soil Science*, 54, p. 779–791, 2003.

SMITH, K. A.; CONEN, F. **Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases**. *Soil Use and Management*, v. 20, p. 255-263, 2004.

SOTTA, E. D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. **Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the central Amazon**. *Global Change Biology*, Oxford, v.10, n.5, p. 601-617, Mary 2004.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J.D. Explaining **temporal variation in soil CO₂ efflux in a mature spruce forest in Southern Germany**. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 35, n.11,p. 1467-1483, Nov. 2003.

VARGAS, L.K. **Composição da comunidade microbiana do solo e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para a cultura do milho**. 2002. 103f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VASCONCELOS, S. S. **Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest**. *Global Biogeochemical Cycles*, v.18, p.GB2009, 2004.

VITOUSEK, PM. **Global environmental change: an introduction** *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 1-14, 1992.

VARNER, R. K., M. KELLER, J. R. ROBERTSON, J. D. DIAS, H. SILVA, P. M. CRILL, M. MCGRODDY, AND W.L. SILVER: **Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emissions from tropical forest soils**. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1144, doi:10.1029/2002GL016164, 2003.

XU, M.; QI, Y. **Spatial and seasonal fo Q10 determined by respiration measurements at a Sierra Nevadan forest.** Global Biogeochemical Cycles. v.15, n 3. p. 687-696, 2001.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. **Changes in soil organic carbon stocks through agriculture in Brazil.** Soil & Tillage Research, 84, p. 28-40, 2005.

