

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EMISSÕES DE CO₂ DO SOLO SOB PREPARO
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO EM
LATOSSOLO VERMELHO DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação de Mestrado

LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**EMISSÕES DE CO₂ DO SOLO SOB PREPARO
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO EM
LATOSSOLO VERMELHO DO RIO GRANDE DO SUL**

por

LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Ciência do solo,
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

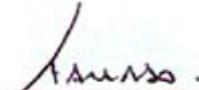
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EMISSÕES DE CO₂ DO SOLO SOB PREPARO
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO EM
LATOSSOLO VERMELHO DO RIO GRANDE DO SUL**

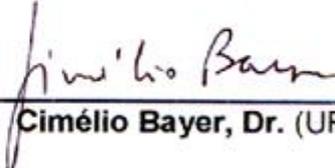
elaborada por
LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

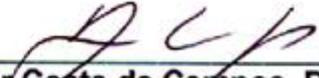
COMISSÃO EXAMINADORA:



Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Cimélio Bayer, Dr. (UFRGS)



Ben-Hur Costa de Campos, Dr. (UNICRUZ)

Santa Maria, 04 de Março de 2008.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade para realização do curso.

Ao Professor Telmo Jorge Carneiro Amado pela acolhida em Santa Maria e orientação deste trabalho.

Ao Professor Cimélio Bayer pela colaboração e acompanhamento na condução do trabalho.

Ao Professor Newton La Scala Júnior - UNESP, Jaboticabal por ceder o equipamento LI-COR (LI-6400-09).

À FUNDACEP por ceder a área de estudo, e ao Jackson Fiorin pela amizade, apoio e suporte durante a fase de coleta de amostras e pelo fornecimento de informação referente ao experimento.

Ao Professor Ben-Hur Costa de Campos - Laboratório de Solos UNICRUZ pela colaboração e fornecimento de informação referente ao experimento.

Aos colegas e professores do PPGCS da UFSM pelo gesto de amizade, carinho e solidariedade que fez possível a culminação deste trabalho.

Aos amigos especiais Gerusa P.K. Steffen, Ricardo Steffen e Elisandra Pocojeski pela amizade e carinho.

Ao Professor Danilo Rheinheimer dos Santos pela solidariedade e colaboração na impressão deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) pelo auxílio financeiro no âmbito do projeto PRONEX "Seqüestro de carbono e mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo e as oportunidades para o agronegócio no RS".

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

EMISSÕES DE CO₂ DO SOLO SOB PREPARO CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO EM LATOSSOLO VERMELHO DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Luis Fernando Chavez Oliveros
ORIENTADOR: Prof. Telmo Jorge Carneiro Amado
Local e data da Defesa: Santa Maria, 04 de Março de 2008.

As mudanças climáticas contemporâneas estão sendo associadas ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), entre eles o dióxido de carbono (CO₂). Entre as estratégias para diminuir o aquecimento global destaca-se a diminuição das emissões e o incremento da absorção biológica de CO₂ através do seqüestro de carbono em ecossistemas. Assim, os solos são fundamentais nessa estratégia uma vez que, dependendo do seu uso e manejo, podem ser um importante fonte ou sumidouro de carbono. Com o objetivo de avaliar as emissões de C-CO₂ do solo causadas pelas práticas de manejo e sua dependência na temperatura e umidade do solo, desenvolveu-se um estudo em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico em experimento de longa duração (22 anos). As emissões de C-CO₂ foram registradas e captadas com duas câmaras; uma dinâmica (Licor-6400-09) fabricada pela companhia LI-COR e outra estática (câmara de PVC) durante um período de avaliação de 30 dias. Os resultados demonstraram que os sistemas de preparo causaram diferenças na emissão de C-CO₂ do solo e o plantio direto (PD) foi o que ocasionou o maior efluxo de CO₂ do solo, sendo 22% superior ao preparo convencional (PC). Os maiores picos de emissões de C-CO₂ foram verificados logo após o preparo do solo com arado e gradagem na parcela sob PC, porém tiveram curta duração. As emissões de C-CO₂ foram influenciadas pelas variações da temperatura e umidade do solo, foi verificada correlação significativa ($r=0,89$) entre o fluxo de C-CO₂ do solo e a temperatura do solo em PD, contrastando com o PC onde não houve correlação entre estas variáveis. As maiores emissões de C-CO₂ do solo no PD foram relacionadas ao maior estoque de carbono, a presença de resíduos na superfície, a maior quantidade de carbono lábil e a maior biomassa microbiana que associados com maior umidade do solo explicam o efluxo, refletindo assim a maior qualidade do solo neste sistema. Os resultados sugerem que no PD de longa duração, devido à alta atividade biológica e altos conteúdos de umidade, os resíduos de soja não promoverão aumento de matéria orgânica do solo. As emissões de C-CO₂ captadas com a câmara dinâmica foram correlacionadas significativamente com as emissões da câmara estática no PD. No entanto, não apresentaram relação no PC. Este projeto de pesquisa é o resultado de uma cooperação científica entre o grupo de pesquisa em Manejo do Solo da UFRGS, Departamento de Solos da UFSM e FUNDACEP.

Palavras-Chaves: Efluxo de CO₂ do solo, manejo do solo, temperatura do solo, umidade do solo.

ABSTRACT

MSc. Dissertation
Soil Science Graduated Program
Santa Maria Federal University

SOIL CO₂ EMISSIONS IN CONVENTIONAL AND NO-TILL SYSTEMS IN A RHODIC HAPLUDOX IN RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Luis Fernando Chavez Oliveros
ADVISER: PROF. Telmo Jorge Carneiro Amado
Place and date of Defense: Santa Maria, March 4th, 2008.

Climatic change is associated with the increase of greenhouse gases (GHG) concentration, including carbon dioxide (CO₂). Among the most important strategies to decrease global warming are decrease emissions and increase biological capture of CO₂ through carbon sequestration in the ecosystems. Therefore, soils are fundamental to this strategy because depending in its use and management, they could act as a carbon source or sink. A study was conducted in a Rhodic Hapludox, in a long-term (22 years) experiment, to evaluate CO₂-C emissions from soil produced by management practices and its dependence on soil temperature and moisture. CO₂-C emissions were intensively analysed with two soil cameras, a dynamic camera (Licor-6400-09) fabricated by LI-COR Company and a static camera (PVC camera) during an evaluation period of 30 days. A intensive cropping system were used in both tillage systems. Results suggest that tillage systems produced differences in the CO₂-C emission. No-till system had the highest CO₂-C efflux from soil, being 22% higher than the conventional tillage. In conventional tillage highest peaks of CO₂-C emissions were verified after soil tillage with disk harrow and chisel plow, nevertheless they were of short duration. CO₂-C emissions were influenced by variations in soil temperature and moisture. Higher CO₂-C emissions from soil in the no-till system were related to higher soil carbon stocks, presence of soybean residues in the surface, higher contents of particulate organic carbon and higher microbial biomass that together with the higher soil moisture compared to conventional tillage explained the higher efflux. The CO₂-C efflux in the long-term no-till reflected the higher soil quality in this system. These results suggest that in the long-term no-till system due to high biologic activity and high soil moisture, soybean residues won't increase soil organic matter content.

Key Words: Soil CO₂ efflux, soil management, soil temperature, soil moisture.

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Características químicas do solo no local de estudo.....	27
TABELA 2 - Precipitação pluviométrica e temperatura do ar média, mínima e máxima diária ocorrida durante o período de realização de captação de C-CO ₂ . Dados obtidos na Estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.....	37
TABELA 3 - Valores médios da temperatura do solo, umidade gravimétrica do solo e porosidade preenchida por água.....	49
TABELA 4 - Estoque de carbono em diferentes frações (COP, COAM, COT) e profundidades do solo sob rotação de culturas no inverno e no verão, sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), pelo método da massa equivalente.....	55
TABELA 5 -, Emissão acumulada de C-CO ₂ em preparo convencional e plantio direto em dois períodos: de aração à semeadura (21 dias) e após a semeadura (10 dias), em rotação de culturas no inverno e no verão, avaliado com a câmara dinâmica.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Esquema de distribuição dos tratamentos no experimento realizado na FUNDACEP, Cruz Alta, RS.....	28
FIGURA 2 - Câmara estática (câmara de PVC) para medição da evolução de C-CO ₂ a campo; a) câmara aberta com armação de ferro; b) câmara com recipiente contendo a solução de NaOH; c) câmara fechada por quatro parafusos; d) câmara instalada em PC; e) câmara instalada em PD.....	29
FIGURA 3 - Câmara dinâmica composta por; a) câmara portátil; a.1) sistema de análise de fotossíntese; a.2) termômetro; b) LI-6400-09 captando C-CO ₂ em PD; c) LI-6400-09 captando C-CO ₂ no momento da semeadura.....	32
FIGURA 4 - Colar de PVC do sistema portátil de fotossíntese da câmara dinâmica inserido no solo.....	33
FIGURA 5 - Sistema portátil (TDR) utilizado para medição da umidade do solo.	35
FIGURA 6 - Distribuição da precipitação pluviométrica e as temperaturas médias do ar durante o período de realização da avaliação da evolução de C-CO ₂ (06/05/2007 a 06/06/2007). Dados obtidos na Estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.....	37

FIGURA 7 – Fluxos de C-CO ₂ nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão avaliado com o LI-6400-09 (Câmara dinâmica). As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da media.....	40
FIGURA 8 - Fluxos de C-CO ₂ nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão avaliado com a Câmara de PVC (Câmara estática). As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da media.....	40
FIGURA 9 - Emissão acumulada de C-CO ₂ em 30 dias nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão, avaliadas por os dois métodos; (a) Câmara dinâmica e (b) Câmara estática.....	43
FIGURA 10 - Umidade gravimétrica (Ug.) e temperatura (Temp.) do solo, nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	46
FIGURA 11 - Correlação entre fluxo de C-CO ₂ do solo avaliado com LI-6400-09 e a temperatura média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	47
FIGURA 12 - Correlação entre fluxo de C-CO ₂ do solo avaliado com LI-6400-09 e a umidade gravimétrica média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	48
FIGURA 13 - Correlação entre fluxo de C-CO ₂ do solo avaliado com câmara estática e temperatura média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	52

FIGURA 14 - Correlação entre fluxo de C-CO ₂ do solo avaliado com Câmara estática e a umidade gravimétrica média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	53
FIGURA 15. - Fluxos de C-CO ₂ medidos por duas câmaras de captação sob preparo do solo convencional em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	61
FIGURA 16 - Fluxos de C-CO ₂ medidos por duas câmaras de captação sob plantio direto em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	61
FIGURA 17 - Correlação entre duas câmaras de captação de fluxo de C-CO ₂ sob preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.....	63

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Dados gerais de fluxo de C-CO ₂ (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) obtidos na câmara estática.....	79
APÊNDICE 2 - Dados gerais de fluxo de C-CO ₂ (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) obtidos na câmara dinâmica.....	79
APÊNDICE 3 – Dados gerais da temperatura do ar, mínima e máxima diária, obtidos na estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.....	80

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Hipótese.....	15
1.2 Objetivos.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Emissão de CO ₂ do solo em agroecossistemas e fatores determinantes.....	16
2.2 Dinâmica da matéria orgânica e mecanismos de proteção de carbono em agroecossistemas.....	18
2.3 Sistemas de preparo do solo.....	21
2.3.1 Plantio Direto.....	21
2.3.2 Preparo Convencional.....	22
2.4 Efeitos da temperatura e umidade do solo na emissão de CO ₂ do solo.....	22
2.4.1 Temperatura do solo.....	23
2.4.2 Umidade do solo.....	24
2.5 Medida do efluxo de CO ₂	24
2.5.1 Sistema de campânula com solução alcalina.....	24
2.5.2 Sistema de campânula com analisador de gás.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Condições experimentais.....	26
3.2 Avaliações.....	27
3.2.1 Evolução de CO ₂ em sistemas de preparo do solo e de culturas.....	27
3.2.1.1 Câmara de PVC (Câmara estática) para captação de C-CO ₂	29
3.2.1.1.1 Procedimento.....	30
3.2.1.1.2 Cálculo da emissão de C-CO ₂	31
3.2.1.2 Câmara de fluxo LICOR-6400-09 (Câmara dinâmica).....	31
3.2.1.2.1 Procedimento.....	32

3.2.2 Avaliação da temperatura e umidade do solo à 0,10 m de profundidade.....	34
3.2.3 Análise de carbono orgânico total e o seu estoque no solo.....	35
3.2.4 Indicadores meteorológicos.....	36
3.2.5 Análise estatística.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Condições meteorológicas.....	38
4.2 Evolução de C-CO ₂	38
4.3 Temperatura e umidade do solo relacionadas com a emissão de C-CO ₂ no solo.....	45
4.4 Distribuição e estoque de carbono orgânico total e particulado no perfil do solo.....	54
4.5 Comparação das câmaras de captação de C-CO ₂	60
5 CONCLUSÕES.....	66
6 RECOMENDAÇÕES.....	67
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
8 APÊNDICES.....	79

1 INTRODUÇÃO

A principal fonte de poluição da atmosfera é a queima de combustíveis fósseis, responsáveis por mais de 60% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) em nível mundial, ocasionando danos ambientais como o aquecimento global. As emissões de CO₂ na agricultura, originadas tanto pelo uso de combustíveis na mecanização quanto pelas práticas de manejo do solo também são uma fonte de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Reicosky & Lindstrom, 1993). No Brasil este sector apresenta grande contribuição para as emissões de GEE, estimada em 75% das emissões de CO₂ (Cerri & Cerri, 2007).

A influência de práticas agrícolas na emissão de gases que causam o efeito estufa é assunto de grande interesse, especialmente quando se trata do CO₂, o principal componente do efeito estufa adicional (resultante de atividades antrópicas). Atividades agrícolas que envolvem o manejo do solo, como o seu preparo, tem afetado a dinâmica dessa emissão (Reicosky & Lindstrom, 1993; Bayer et al., 2000; La Scala Junior et al., 2001; Lal, 2003)

A produção de CO₂ no interior do solo está relacionada à atividade biológica, incluindo a respiração das raízes e a decomposição da matéria orgânica do solo pela atividade microbiana. A emissão de CO₂ é resultado da interação dos processos de produção e transporte desse gás no interior do solo. Tais processos são fortemente influenciados pelas condições de temperatura e umidade do mesmo (Buyanovsky, 1986; Sá et al., 2001).

No âmbito das mudanças climáticas globais, os solos agrícolas estão em foco, sendo que podem atuar como dreno ou fonte de GEE, dependendo do uso e sistema de manejo a que forem submetidos (IPCC, 2001). Quando do revolvimento do solo, procedimento comum na agricultura convencional, há uma aceleração na decomposição da matéria orgânica (Reicosky & Lindstrom, 1993).

Sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de carbono no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (Amado et al., 1999; 2001; Bayer et al., 2000a; Bayer et al., 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha diversas funções nos diferentes processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, estando ligada aos processos fundamentais na ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, não obstante de ser a fonte básica de energia para a atividade biológica. A oxidação biológica da MOS, interfere nesses processos e funções do solo, provocando desequilíbrio nos diferentes sistemas, desencadeando em processos que resultam na sua degradação (Tebrugge & During, 1999).

Este estudo é uma contribuição para a avaliação da emissão de C-CO₂ em dois sistemas de preparo do solo, convencional (aração + gradagem + semeadura) e plantio direto (semeadura), em ensaio de longa duração (22 anos). Temperatura e umidade do solo foram medidas simultaneamente para explicar diferenças no fluxo de gás entre os dois sistemas de preparo do solo.

1.1 Hipótese

O efluxo de 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.

1.2 Objetivos

Avaliar as emissões de C-CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto, e determinar sua relação com a temperatura e umidade do solo.

Comparar duas metodologias com câmaras na sua eficiência de avaliação de C-CO₂ no solo em diferentes sistemas de manejo do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Emissão de CO₂ do solo em agroecossistemas e fatores determinantes

Efluxos de CO₂ de solos agrícolas são o resultado de interações entre o clima e as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo. Sistemas de preparo do solo podem alterar essas propriedades e, portanto influenciar na liberação de GEE. O plantio direto (PD), um manejo conservacionista do solo, tem sido proposto como alternativa para diminuir as emissões de CO₂ do solo, pois tem sido observado que existe geralmente maior acúmulo de carbono sob PD em relação ao preparo convencional (PC) (Tebrugge e During, 1999). O PC promove a inversão do solo e a completa incorporação de resíduos. Não existe um consenso na literatura sobre a diferença na magnitude das emissões de CO₂ entre o PD e PC, alguns autores tem relatado efluxos similares de CO₂ sob ambos os sistemas (Fortin et al., 1996; Campos, 2006), já Hendrix et al., (1998) reportaram maior emissão de CO₂ em PD. Ball et al. (1999), relataram maior emissão de CO₂ por alguns períodos curtos de tempo e posteriormente menores emissões por outros períodos sob PD. Reicosky & Lindstrom (1993), encontraram emissão de CO₂ significativamente menor em PD do que em PC, sendo as maiores emissões durante um curto período depois do preparo do solo.

O preparo do solo pode não apresentar um efeito em curto prazo nas emissões de CO₂, podendo existir um efeito combinado de curto e longo prazo. O efeito de curto prazo do preparo é o resultado de distúrbios físicos do solo, com o rompimento dos agregados, que ocorre durante o revolvimento e a incorporação de resíduos de culturas, que aumenta o contato resíduo-solo. Quanto ao PD, a emissão de CO₂ é resultado de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo após vários anos de estabelecido este sistema. Em sistemas de manejo recentemente estabelecidos predominam os efeitos de curta duração, já em sistemas de longa duração predominam os efeitos de alterações das propriedades do solo.

Somente poucos estudos têm mostrado resultados de experimentos de longa duração comparando sistemas de preparo em que as emissões de CO₂ foram medidas continuamente e em períodos diferentes além do imediatamente depois do preparo do solo (Dao, 1998; Hendrix et al., 1998; Kessavalou et al., 1998a).

Reicosky & Lindstrom (1993) e Fortin et al. (1996), registraram efeitos de curto prazo nas emissões de CO₂ do solo ao comparar sistemas de preparo estabelecidos a menos de 5 anos, sendo detectadas diferenças nas emissões de CO₂ logo no primeiro ano após o estabelecimento. Já Dao (1998) e Kessavalou et al. (1998a), avaliaram as emissões por um período maior de tempo às quais forneceram informações do efeito combinado de curto e longo prazo.

A emissão de CO₂ do solo é o produto da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), da concentração de CO₂ previamente existente no solo e da respiração das raízes das plantas. A decomposição de MOS depende de vários fatores que incluem a temperatura do solo, conteúdo da umidade do solo, quantidade de carbono orgânico e o potencial de decomposição do carbono do solo (Reicosky & Lindstrom, 1993). A decomposição de resíduos de culturas é ainda afetada por fatores adicionais tais como a qualidade e localização dos resíduos e o conteúdo do nitrato do solo (Garnier et al., 2003).

Maiores conteúdos de umidade são encontrados sob PD especialmente nas camadas de 0-0,05 m de profundidade do solo quando comparado ao PC (Fortin et al., 1996). Isso significa que variáveis climáticas controlam parcialmente a diferença em emissões de CO₂ entre os sistemas de manejo PC e PD.

2.2 Dinâmica da matéria orgânica e mecanismos de proteção de carbono em agroecossistemas

A MOS está formada por resíduos de animais, plantas e microrganismos em diferentes fases de decomposição, associada com partículas de argila e silte do solo e também a minerais complexos. O carbono é o principal constituinte da matéria orgânica e seu conteúdo no solo é regulado principalmente pelo balanço entre a entrada de material orgânico e a sua perda por decomposição, erosão e lixiviação. A maior parte da decomposição da MOS é realizada por bactérias e fungos que compreendem mais de 90% da biomassa microbiana do solo porque os macro e meso organismos do solo são principalmente detritívoros; portanto, a comunidade microbiana é um fator chave para regular a dinâmica da MOS, controlando a disponibilidade de nutrientes e liberação ou acúmulo de carbono no solo (Six et al., 2006).

A MOS é importante para a ciclagem de nutrientes, formação e estabilização de agregados e retenção de umidade do solo. Proteger o carbono no solo pode significar diminuir as emissões de CO₂ para a atmosfera e melhorar a qualidade do solo por aumentar a fonte de energia e alimento para a vida do solo. Quando o material orgânico é adicionado ao solo nas diferentes formas (adubo verde, resíduos de cultivos, decomposição de raízes), as bactérias decompõem rapidamente os compostos mais facilmente degradáveis como açúcar, celulose, e nessa fase não há estabilização de carbono, mas praticamente CO₂, H₂O e minerais no solo (Six et al., 2000).

Nos estádios seguintes da decomposição, para atacar substâncias mais resistentes como estruturas de lignina e polifenóis, os fungos entram em ação e a decomposição ocorre de uma forma mais lenta. Bactérias e fungos, durante o seu metabolismo, eliminam substâncias mucilaginosas, que são polissacarídeos, mas com função cimentante, que unem produtos da decomposição com partículas de argila e minerais, e vão formando agregados do solo; microagregados dentro dos macroagregados (Tisdall, 1994; Six et al., 2000; 2004; 2006). Esses materiais cimentantes podem ser transitórios (polissacarídeos derivados de plantas e

microrganismos), temporários (raízes, hifas de fungos saprofíticos e de micorrizas) e persistentes (matéria orgânica humificada e um complexo de metais catiônicos polivalentes) (Tisdall & Oades, 1982).

Os macroagregados estão unidos por materiais transitórios e temporários e os microagregados por materiais persistentes. Os materiais cimentantes protegem a MOS da decomposição biológica. A proteção não ocorre tanto nos macroagregados (> 250 μm) (Beare et al., 1994), mas principalmente nos microagregados livres (< 250 μm) e nos microagregados encapsulados dentro dos macroagregados (Balesdent et al., 2000; Six et al., 2000) principalmente devido à característica do material que os agrega. Quando cessa a atividade microbiana, também se rompe a produção de compostos polissacarídeos e não há formação de novos agregados ou se rompem os já existentes.

Nos sistema de manejo do solo como o PD há maior proteção dos agregados e maior conservação de carbono no solo. Na agricultura convencional, onde o solo é freqüentemente perturbado, há aumento na taxa de renovação de macroagregados, assim como diminuição da formação de novos microagregados dentro de macroagregados. A combinação desses processos diminui a proteção da MOS nesses microagregados (Six et al., 2006), porque ficam expostos e de fácil acesso à decomposição.

É importante um balanço entre o tempo de renovação para a formação de novos macroagregados e a entrada de novas fontes de carbono que permitam a oclusão de carbono jovem dentro dos agregados, mas muitas vezes os macroagregados se formam e se rompem em taxas muito mais rápidas que a entrada de novas fontes de carbono (Six et al., 2006). Já que a instabilidade dos macroagregados parece ser mais intensa em solos temperados do que em solos tropicais devido às ligações de óxidos de Fe e Al e argilas.

Durante a decomposição da MOS, os microrganismos utilizam o carbono que necessitam para a síntese de biomassa e o restante é perdido por respiração em forma de CO_2 (Six et al., 2006). Esses microrganismos liberam carbono ao solo como produto de seu metabolismo e também de suas células com a sua morte. A

quantidade desses produtos que se acumulam no solo depende da composição química assim como do grau com que esses estão fisicamente protegidos dentro do solo (Six et al., 2006).

Existe considerável diferença entre fungos e bactérias em acumular carbono. Uma comunidade dominada por fungos melhora o ambiente físico por estabilizar o carbono e produzir carbono mais protegido e estável (Six et al., 2006). A proporção de biomassa microbiana composta por fungos pode ser aumentada à medida que diminui a perturbação do solo, tal como verificado sob PD em relação ao PC (Watson & Rice, 2004).

A dinâmica com que os agregados são renovados pode ser o principal fator que controla a relação entre oclusão de matéria orgânica neles agregados, controlando a dinâmica da decomposição (Rilling & Mummey, 2006). Para que o carbono seja protegido dentro dos agregados do solo é importante considerar todos os mecanismos que controlam esse processo. Nesse sentido, um manejo de solo que conserva o carbono, em ecossistemas agrícolas, deve criar condições ambientais favoráveis, tanto bióticas como abióticas para o desenvolvimento de uma comunidade microbiana ativa e diversificada, assim como deve ter um manejo de culturas com rotação e uso de adubos verdes, adoção do PD, e retorno de resíduos na superfície do solo (Six et al., 2006), privilegiando a adição de material orgânico e a proteção dos agregados do solo.

Segundo Janzen (2006), se a matéria orgânica é mais produtiva biologicamente quando se decompõe, será possível fazer ambas as coisas: conservar a matéria orgânica e aproveitar de sua decomposição? Ele considera importante encontrar um equilíbrio entre acumulação e decomposição e desenvolver urgentemente linha de trabalho para aumentar a entrada de carbono e otimizar o tempo de decomposição com a necessidade da planta e compreender melhor o movimento de carbono dentro do sistema do que somente o acúmulo.

2.3 Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo é umas das práticas de manejo mais antigas da agricultura, e sua utilização tem aumentado desde a era industrial. O sistema de preparo interfere em muitos atributos do solo como o conteúdo da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, pH, densidade, condutividade hidráulica, conteúdo de água disponível e estabilidade dos agregados (Reicosky & Lindstrom, 1993; Beare et al., 1994). Em geral, em condições de solos bem drenados, as formas conservacionistas de preparo melhoram as condições de todos estes atributos anteriormente relacionados, principalmente na camada superficial. Entre os sistemas de preparo, o convencional com arado ou grade de disco geralmente produz as maiores perdas de carbono orgânico do solo, assim como de carbono oriundo do uso de combustíveis fósseis (Reicosky & Lindstrom, 1993).

2.3.1 Plantio Direto

O PD caracteriza-se por um conjunto de técnicas que visam a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, considerando três requisitos importantes: o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas e a permanente cobertura do solo. A diminuição significativa do consumo de combustível (60 a 70 % menos de óleo diesel), o aumento do conteúdo de matéria orgânica em decomposição na superfície do solo e a redução da perda de solo por erosão são algumas das principais melhorias proporcionadas pelo uso do PD (Derpsch et al., 1991; Reicosky & Lindstrom, 1993). De acordo com estas melhorias, o PD possibilita a obtenção de uma agricultura mais sustentável, de alta produtividade, com minimização de custos por unidade produzida e com menor impacto ao ambiente (Derpsch et al., 1991).

No PD, os teores de MOS podem ser preservados, pois há uma redução na taxa de decomposição, em função da menor fragmentação dos resíduos e do não

revolvimento do solo. Desta forma, os resíduos permanecem na superfície, tendo uma menor área de contato com o solo. Entretanto não somente a redução na taxa de decomposição se faz importante, mas também a capacidade do sistema de culturas em suprir carbono para o solo. Para que haja um efetivo acúmulo de MOS no sistema, deve-se ter uma taxa de entrada de carbono superior a taxa de decomposição. Portanto, a rotação de culturas tem um papel muito importante em proporcionar incremento na produção de resíduos que retornam ao solo (Roscoe et al., 2006).

2.3.2 Preparo Convencional

O preparo convencional baseia-se no preparo do solo com arações e gradagens e pelo excessivo tráfego de máquinas no solo, afetando grandemente as propriedades físicas do solo em sua estrutura da camada superficial, contribuindo desta maneira para a formação de uma camada compactada subsuperficial, favorecendo a erosão (Reicosky & Lindstrom, 1993; Boller et al., 1998).

Os sistemas convencionais de cultivo, que envolvem aração e gradagem, são considerados os que ocasionam maior degradação, resultando na maioria das vezes na redução do teor de matéria orgânica do solo. Estas perdas de MOS são incrementadas quando do revolvimento do solo e conseqüente rompimento dos agregados, maior fragmentação e incorporação dos resíduos e diminuição da cobertura do solo, que resultam em alterações na temperatura, umidade e aeração do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Roscoe et al., 2006)

2.4 Efeitos da temperatura e umidade do solo na emissão de CO₂ do solo

A intensidade da respiração do solo esta associada às condições de temperatura e umidade do solo. A variabilidade temporal e espacial destas variáveis também influencia diretamente as emissões de CO₂ para a atmosfera. Já que a

emissão de CO₂ do solo depende do gradiente vertical de concentração do gás em profundidade, do gradiente vertical de pressão do ar e da velocidade horizontal do vento a superfície do solo. Por isso os principais fatores que afetam as emissões de CO₂ são a temperaturas do ar e do solo e o teor de umidade do solo (Russell & Vooney, 1998; Rustand et al., 2000; Janssens et al., 2001).

O PD se caracteriza pela elevada cobertura do solo pela palha e a pequena mobilização da superfície. Com o aumento da cobertura do solo de 30% para 80%, a temperatura da superfície é reduzida em até 4°C e a amplitude da temperatura do solo durante o dia também diminui, com benefícios para o desenvolvimento das plantas. Com uma cobertura morta de aproximadamente 70%, a evaporação do solo se reduz para cerca de 25%. Assim, a disponibilidade de água é maior, podendo representar uma economia de até 30% na quantidade de água aplicada em algumas áreas de produção irrigada ou a manutenção da produtividade em áreas de sequeiro quando ocorrem déficit hídricos (Silva et al., 2006).

2.4.1 Temperatura do solo

A temperatura tem efeito sobre as emissões de CO₂ do solo, em latitudes médias, a respiração do solo aumenta proporcionalmente com a temperatura do solo seguindo um padrão exponencial (Davidson et al., 2000; Rayment & Jarvis, 2000). Em diversos trabalhos têm sido encontradas relações significativas entre a temperatura do solo e do ar com as emissões de CO₂ (Russell & Vooney, 1998), as quais podem elevar exponencialmente as taxas de respiração do solo.

Hanson et al. (1993) e Freitas (2001), reportaram modelos empíricos de emissão de CO₂ em função da temperatura e umidade do solo ajustados a diferentes ecossistemas. A respiração de raízes tem um papel fundamental nas estimativas do efluxo de CO₂ do solo, devido ao fato de ser menos influenciada pela falta/excesso de umidade no solo, ao contrário da respiração microbiana, que é muito mais influenciada pela sua variação temporal.

2.4.2 Umidade do solo

A umidade do solo exerce grande influência nas emissões de CO₂. A umidade do solo pode tanto favorecer como inibir a produção de CO₂, havendo teoricamente uma umidade ótima que maximiza a respiração. Segundo Linn & Doran (1984), a respiração microbiana do solo é limitada pela restrição de difusão de O₂ (oxigênio necessário para a respiração aeróbica) através dos poros quando o solo encontra-se muito úmido, e por outro lado, limitada também na condição seca, devido à restrição da solubilidade de substratos de carbono orgânico, que constitui a fonte de energia para os microrganismos heterotróficos (Zanchi et al., 2002).

2.5 Medida do efluxo de CO₂

O fluxo de CO₂ no sistema solo-atmosfera pode ser estimado diretamente e utilizando-se câmaras posicionadas sobre a superfície do solo. Existem diferentes formas e dimensões sendo as mais comumente utilizadas de formato cilíndrico com tamanho variado. Seu funcionamento pode ser estático ou dinâmico em função da circulação interna de ar promovida por ventiladores e da existência de um fluxo conhecido de ar passando através das câmaras (Freijer & Bouten, 1991).

Atualmente existem diversos métodos para avaliação das emissões de CO₂ do solo para a atmosfera, a seguir se apresentaram uma descrição resumida dos dois procedimentos utilizados no presente estudo.

2.5.1 Sistema de campânula com solução alcalina

Utilizam-se câmaras de funcionamento estático e a concentração de CO₂ oriunda do solo é capturada nessa solução alcalina (amostra) e pode ser quantificada por titulação ácida. O método é simples, versátil e de baixo custo, sendo

bastante utilizado, já que oferece resultados confiáveis, porém apresenta a limitação de ser trabalhoso (Aita, 1996; Campos, 2006).

2.5.2 Sistema de campânula com analisador de gás

Consiste num sistema fechado dinâmico que absorve o CO₂ do solo por infravermelho (Infra Red Gas Analyzer – IRGA), captando a amostra diretamente da câmara colocada sobre o solo, este sistema é o caminho mais direto de medida de respiração que ocorre no solo (Figura 4, em Material e Métodos (descrição detalhada do método)). A exatidão do método para quantificação dos fluxos de CO₂ foi estudada extensivamente por Janssens et al. (2000) encontrando resultados satisfatórios.

O método de IRGA está se tornando cada vez mais comum entre todos os métodos utilizados para medir com câmaras a respiração do solo, porque oferece a vantagem de que os fluxos de CO₂ podem ser medidos rapidamente e os números de leituras podem ser maiores que o anterior permitindo caracterizar o comportamento e monitoramento das concentrações do CO₂, minimizando o tempo que a câmara esta sobre o solo para tornar mínimo ou efeito pela alteração do gradiente de concentração do CO₂ dentro do perfil do solo (Janssens et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

Este estudo foi desenvolvido em um experimento de longa duração (22 anos), localizado na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigô (FUNDACEP), Cruz Alta, RS. A área experimental está localizada na região do Planalto Médio do RS (Rio Grande do Sul, 1994), a latitude de 28°36' Sul, longitude de 53°40' Oeste e altitude média de 409 m. O solo ocorrente é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999), com predomínio de caulinita e óxidos de ferro (Streck et al., 2002).

O local do estudo apresenta clima subtropical úmido, tipo Cfa 2a, segundo a classificação climática de Köppen (Moreno, 1961). A precipitação média anual é de 1.755 mm, com chuvas distribuídas uniformemente durante o ano (média do período de 1974 a 2006 - dados da Estação Meteorológica da FUNDACEP).

Para a realização deste estudo, utilizaram-se parcelas constituintes do experimento "Influência do preparo do solo e da rotação de culturas sobre o rendimento e a rentabilidade das culturas", instalado em 1985 (Ruedell, 1995). A área do experimento apresenta declividade média de 4,7 %. Anteriormente, a área vinha sendo cultivada em PC há aproximadamente 30 anos, principalmente com a cultura do trigo e posteriormente com a sucessão trigo/soja. Nos primeiros 15 anos de PC, a resteva de trigo foi queimada, com o objetivo de eliminar os resíduos culturais e facilitar a semeadura da próxima cultura. Após a aquisição da área pela atual FUNDACEP em 1971, esta prática não foi mais realizada (Campos, 2006).

Na tabela 1, encontram-se detalhadas as características químicas do solo avaliadas anterior à instalação do experimento na camada de 0-0,20 m de profundidade.

Tabela 1 - Características químicas do solo no local de estudo.

Camada (m)	Argila	Silte	Areia	Matéria Orgânica	pH	P	K	Al	Ca+Mg
	g kg ⁻¹					mg dm ⁻³		mmol dm ⁻³	
0-0,20	570	120	310	32	4,5	19	82	12	42

Fonte: adaptado de Campos (2006).

Este experimento consiste de dois métodos de preparo de solo, PC e PD, combinados com três diferentes sistemas de rotação de culturas. As parcelas principais medem 40 x 60 m (2400 m²) (Figura 1).

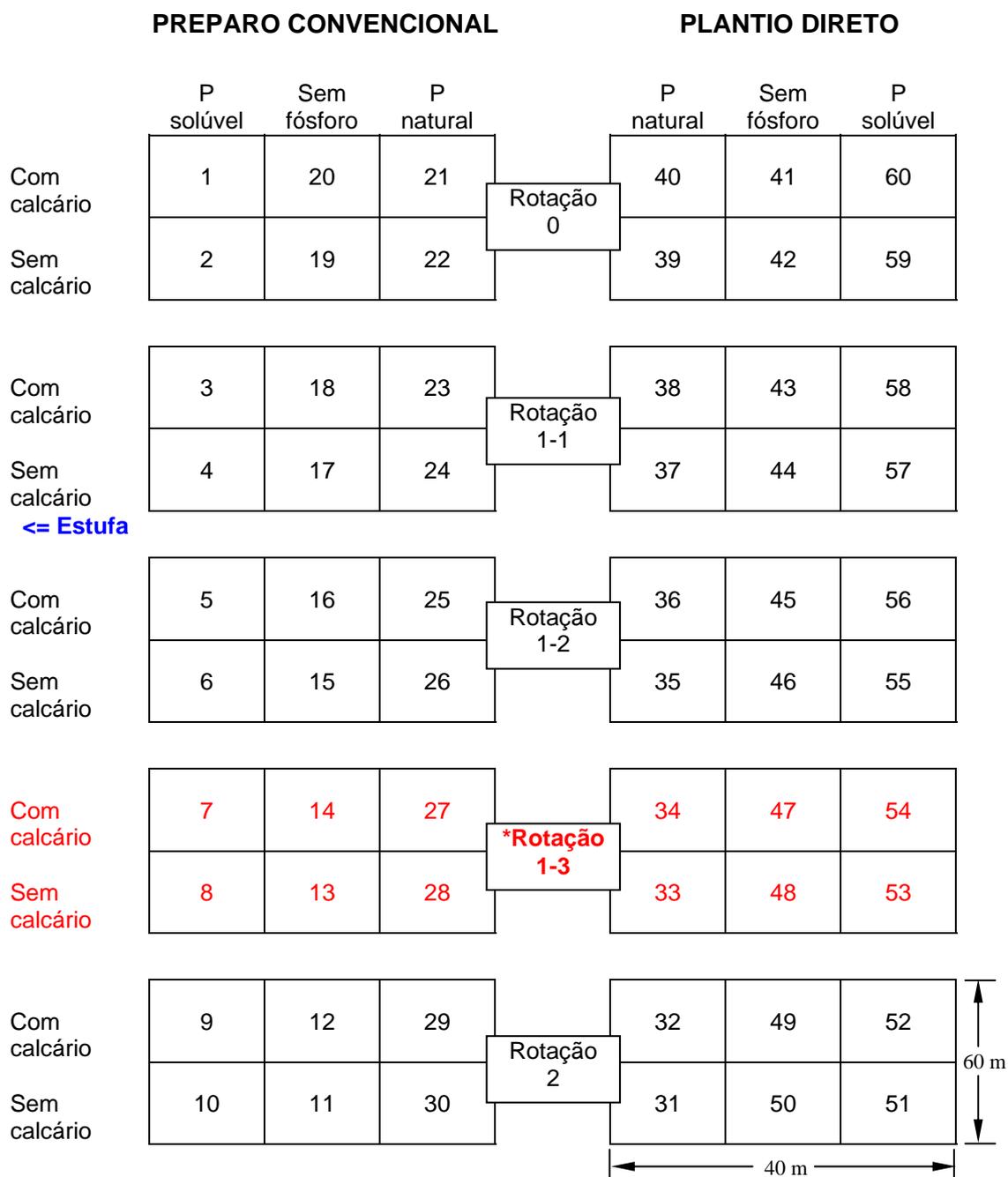
Os métodos de preparo do solo são: a) PC, o qual consiste de uma lavração com arado de discos, seguido de uma gradagem leve; b) PD, com o estabelecimento de culturas de inverno-verão, diretamente através dos resíduos culturais remanescentes sobre a superfície do solo.

3.2 Avaliações

3.2.1 Evolução de CO₂ em sistemas de preparo do solo e de culturas

Para este estudo, utilizou-se o sistema de rotação de cultura de inverno e verão; aveia preta (*Avena strigosa* Schreber.) /soja (*Glycine max* (L.) Merr.) /aveia preta + ervilhaca comum (*Vicia sativa* (L.) Walp.) /milho (*Zea mays* L.) /nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiformis* L.) /trigo (*Triticum aestivum* L.) /soja (Rotação 1-3), em cada sistema de preparo do solo (Figura 1). As parcelas foram mantidas com resíduos vegetais da cultura da soja e sem plantas.

As emissões de C-CO₂ do solo foram coletadas e registradas por dois métodos, i) Câmara de PVC (Câmara estática) (Figura 2) utilizada por Aita (1996), Chapinotto (2003) e por Campos (2006) neste mesmo experimento e, ii) Câmara de fluxo fabricada pela companhia LI-COR (LI-6400-09, LI-COR, NE, USA) (Câmara dinâmica) (Figura 3).

**Legenda:**

Sistemas de culturas

Rotação 0: Trigo/soja

Rotação 1-1: Trigo/soja/aveia/soja/aveia+ervilhaca/milho/nabo

Rotação 1-2: Aveia+ervilhaca/milho/nabo/trigo/soja/aveia/soja

Rotação 1-3: Aveia/soja/aveia+ervilhaca/milho/nabo/trigo/soja

Rotação 2: Aveia/soja/trigo/soja

* = Parcelas em estudo.

Figura 1 - Esquema de distribuição dos tratamentos no experimento realizado na FUNDACEP, Cruz Alta, RS. Fonte: adaptado de Campos (2006).



Figura 2 - Câmara estática (câmara de PVC) para medição da evolução de C-CO₂ a campo; a) câmara aberta com armação de ferro; b) câmara com recipiente contendo a solução de NaOH; c) câmara fechada por quatro parafusos; d) câmara instalada em PC; e) câmara instalada em PD.

3.2.1.1 Câmara de PVC (Câmara estática) para captação de C-CO₂

Constituída por um cilindro de PVC (policloreto de vinil) com altura e diâmetro de 0,30 m, para o PD, e 0,35 m de altura e 0,30 m de diâmetro, para o PC. A parte superior é revestida com uma borracha para proporcionar a completa vedação pela

tampa, impedindo trocas gasosas com a atmosfera externa. A tampa é constituída de uma chapa de zinco galvanizado, fixada ao cilindro de PVC por meio de quatro parafusos externos distribuídos simetricamente em sua circunferência. Sobre a tampa foi colada uma camada de isopor (0,015 m de espessura), a fim de minimizar mudanças de temperatura no interior das câmaras (Campos, 2006).

No interior da câmara, a 0,05 m da superfície do solo, foi instalada uma armação de ferro, em forma de "X", para receber o recipiente (0,04 m de altura e 0,25 m de diâmetro) contendo a solução alcalina (NaOH 1M) utilizada para captar o CO₂ evoluído (Campos, 2006). Em cada coleta, utilizaram-se 100 mL desta solução. As câmaras estáticas foram inseridas no solo a, aproximadamente, 0,07 e 0,05 m de profundidade no PC e no PD, respectivamente.

3.2.1.1.1 Procedimento

Em cada parcela experimental, foram instaladas 4 câmaras um dia antes do preparo do solo, as quais foram retiradas depois da amostragem. Nas parcelas cultivadas no PC, as câmaras foram novamente instaladas, imediatamente após a passagem dos implementos. Esse processo foi realizado simultaneamente no PD. Os implementos utilizados para estudar a evolução de C-CO₂ foram o arado de 4 discos (profundidade de 0,20 m), a grade de 36 discos e a semeadeira (SEMEATO SHM 15/17). Dois dias após a passagem do arado, foi realizada a gradagem e, por último, a semeadura aos 22 dias. A solução de NaOH, utilizada para medir as emissões de C-CO₂, foi retirada 24 horas após a instalação das câmaras, durante o período avaliado de 30 dias. A primeira avaliação foi realizada no dia 6/05/07 e a última, no dia 1/06/07. Nesse período, realizaram-se sete avaliações.

Utilizou-se, em cada sistema de preparo do solo, uma câmara controle, a qual consistiu de cilindros com extremidade inferior selada, que foram instaladas no campo sem exposição ao solo, durante o mesmo período de tempo que as demais câmaras.

3.2.1.1.2 Cálculo da emissão de C-CO₂

O procedimento de cálculo da emissão de C-CO₂, consistiu na titulação do NaOH. Primeiramente, realizou-se a pesagem do recipiente vazio e com NaOH, antes e depois da colocação a campo, sendo posteriormente, realizada a pesagem do NaOH titulado (Campos, 2006).

A correção da normalidade do NaOH, foi efetuada a partir das pesagens, utilizando-se a seguinte relação: peso NaOH antes da colocação a campo / peso do NaOH depois da colocação a campo. Esta nova normalidade foi utilizada para corrigir o gasto de HCl da titulação. A quantidade de C-CO₂ emitido por unidade de superfície foi calculada pela seguinte fórmula:

$$C-CO_2 = ((B - V) \times N \times E) / (A \times T)$$

Onde:

C-CO₂ = carbono evoluído na forma de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹)

B = volume de HCl para controles (prova em branco) (ml)

V = volume de HCl para amostras expostas ao solo (ml)

N = normalidade do HCl

E = equivalente-grama do C (6 g)

A = área da seção transversal do cilindro (superfície do solo amostrada) (m²)

T = tempo de coleta (h)

3.2.1.2 Câmara de fluxo LICOR-6400-09 (Câmara dinâmica)

Fabricada pela companhia LI-COR (LI-6400-09, LI-COR, NE, USA) (Healy et al., 1996), consiste em um sistema fechado, colocada sobre colares de PVC (0,10 m de diâmetro) instalados no solo. A câmara previamente calibrada se acopla a um sistema portátil de fotossíntese (LI-6400-09), o qual analisa a concentração de CO₂ no seu interior por meio da espectroscopia de absorção ótica (Figura 3).

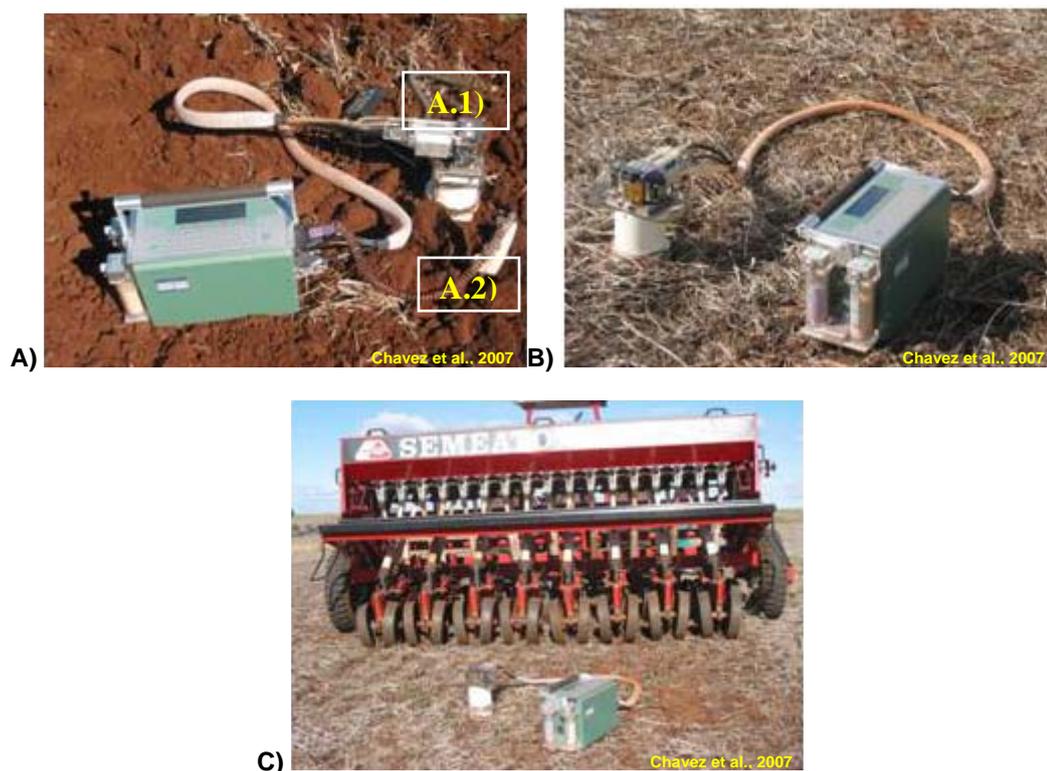


Figura 3 - Câmara dinâmica composta por; a) câmara portátil; a.1) sistema de análise de fotossíntese; a.2) termômetro; b) LI-6400-09 captando C-CO₂ em PD; c) LI-6400-09 captando C-CO₂ no momento da semeadura.

3.2.1.2.1 Procedimento

Nas parcelas de PC e PD, foram instalados dez anéis de PVC. Vinte e quatro horas após a instalação dos anéis, inseridos cuidadosamente no campo para evitar prejuízos a sua estrutura porosa (Figura 4), acoplou-se a câmara de solo LI-6400-09 em cada um deles. As avaliações do efluxo de CO₂ realizaram-se um dia antes do preparo do solo e imediatamente após a passagem dos implementos: arado, grade de disco e semeadeira no PC e semeadeira no PD. Os implementos utilizados para o preparo do solo foram os mesmos descritos no item Câmara estática, durante o período avaliado de 30 dias, sendo a primeira avaliação realizada no dia 6/05/07 e a última, no dia 6/06/07, totalizando quinze avaliações nesse período. Foram feitas várias leituras durante o dia e calculada a média diária.



Figura 4 - Colar de PVC do sistema portátil de fotossíntese da câmara dinâmica inserido no solo.

Os dados das taxas médias de emissão de CO_2 , que tem como princípio fundamental a difusão que regula a emissão de CO_2 do solo para a atmosfera, são dependentes do gradiente de concentração desse gás entre o solo e o interior da câmara de fluxo. Assim a emissão de CO_2 é dependente da sua concentração no interior da câmara, ocorrendo uma diminuição da emissão de CO_2 com o aumento da concentração desse gás no interior da mesma (Healy et al., 1996). Por princípio de medição, o sistema LI-6400-09 monitora a concentração de CO_2 no interior da câmara sendo esta próxima à concentração de CO_2 da atmosfera no local estudado (Panosso, 2006).

Uma série de procedimentos deve ser adotada para realização das medições da emissão de CO_2 com o sistema LI-6400-09. Inicialmente a câmara de solo, que é um sistema fechado com volume interno de $9,91 \text{ m}^3$ e área de contato com o solo de $0,716 \text{ m}^2$, é instalada sobre um colar de PVC, previamente colocado no solo. A utilização de colares de PVC é decorrente ao fato de que podem ocorrer distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, como o rompimento de sua estrutura porosa, por exemplo, causando um aumento temporário de CO_2 emitido pelo solo. Após transcorridos pelo menos 24 horas da instalação dos colares no campo, acopla-se a câmara de solo LI-6400-09 sobre eles, não havendo contato da câmara com o solo, para minimizar os distúrbios mecânicos sobre o mesmo. Antes da avaliação da emissão de CO_2 , é registrada a concentração de CO_2 do ar próximo

à superfície da área (por exemplo, no início das avaliações registrou-se; $345 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$), sendo este valor introduzido no sistema como referência para a realização das avaliações.

No início da leitura, a câmara foi inserida sobre o colar sendo reduzida a concentração de CO_2 no seu interior até o valor de $10 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$ abaixo daquele na superfície do solo (neste exemplo, até $335 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$), dirigindo-se o gás do interior da câmara através de soda lime. Após tal redução, o aumento natural de concentração de CO_2 no interior da câmara, devido à emissão de CO_2 do solo, é seguido a cada 2,5 segundos, sendo a emissão de CO_2 computada durante um tempo total de aproximadamente 90 segundos enquanto a concentração de CO_2 dentro da câmara aumenta até $10 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$ acima da concentração de CO_2 do ar ($355 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$). Após o período total de medição, o software do sistema LI-6400-09 produz uma regressão linear entre a emissão de CO_2 e a concentração de CO_2 no interior da câmara, sendo a emissão naquele ponto calculada como aquela quando a concentração no interior da câmara era igualada à registrada no sistema em aberto (neste caso em $345 \mu\text{mol m}^2 \text{seg}^{-1}$).

3.2.2 Avaliação da temperatura e umidade do solo à 0,10 m de profundidade.

A temperatura do solo foi avaliada utilizando-se o sensor de temperatura, parte integrante do sistema ao LI-6400-09 (Figura 3). Tal sensor consiste de uma haste de 0,20 m, que foi inserida no interior do solo, o mais perpendicular possível em relação à superfície, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC para a avaliação da emissão de CO_2 .

O princípio de funcionamento deste sensor é baseado no chamado termistor, que é uma resistência elétrica que tem o seu valor modificado com a temperatura do solo. As leituras da temperatura do solo foram feitas simultaneamente durante o período em que o sistema LI-6400-09 estava realizando as medidas de emissão de CO_2 .

A umidade do solo foi avaliada utilizando um equipamento portátil TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália) que é constituído por uma sonda apresentando 2 hastes de 0,12 m que devem ser inseridas no interior do solo (Figura 5) o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC. O seu princípio de funcionamento consiste em medir o tempo de percurso de um pulso eletromagnético no espaço compreendido entre as duas extremidades das hastes, sendo que o tempo de percurso está relacionado com a constante dielétrica média do meio no qual a sonda-guia é inserida.

Os equipamentos foram cedidos pelo professor Newton La Scala Júnior - UNESP, Jaboticabal, SP.



Figura 5 - Sistema portátil (TDR) utilizado para medição da umidade do solo.

3.2.3 Análise de carbono orgânico total e o seu estoque no solo

Neste estudo foram utilizados os dados de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), na fração $<53\mu\text{m}$ e os

estoques de carbono orgânico total (COT) obtidos no trabalho de pesquisa para as mesmas parcelas experimentais documentados por Campos (2006). Estes dados, obtidos um ano antes da realização deste experimento, foram avaliados nas camadas de 0-0,05; 0-0,10; 0-0,20 e 0-0,30 m de profundidade do solo.

3.2.4 Indicadores meteorológicos

A precipitação pluviométrica ocorrida durante o período de realização das avaliações e as temperaturas média do ar no momento das amostragens de evolução de C-CO₂ nos sistemas de preparo e de rotação de cultura inverno-verão, encontra-se na Figura 6.

A precipitação pluviométrica e as temperaturas do ar, mínimas e máximas diárias ocorridas durante o período de realização de captação de C-CO₂ encontram-se na Tabela 2.

3.2.5 Análise estatística

As análises estatísticas de correlação foram realizadas com o auxílio do Programa Estatístico SAS (SAS, 1996).

As figuras foram realizadas através do programa computacional Sigma Plot[®].

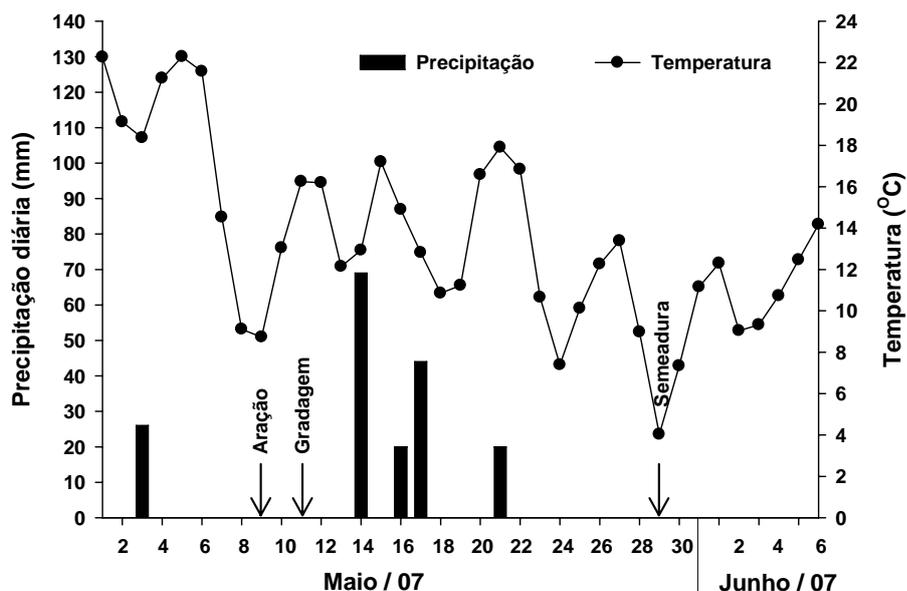


Figura 6 – Distribuição da precipitação pluviométrica e as temperaturas médias do ar durante o período de realização da avaliação da evolução de C-CO₂ (06/05/2007 a 06/06/2007). Dados obtidos na Estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.

Tabela 2 – Precipitação pluviométrica e temperatura do ar média, mínima e máxima diária ocorrida durante o período de realização de captação de C-CO₂. Dados obtidos na Estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.

Data (Preparo)	Temperatura do ar (°C)			Precipitação (mm)
	Média	Mínima	Máxima	
03/05/2007	18,36	15,10	21,70	26,00
06/05/2007	21,57	18,50	28,30	0,00
08/05/2007	9,11	5,00	13,90	0,00
09/05/2007 (Aração)	8,73	2,90	14,60	0,00
10/05/2007	13,04	6,90	20,20	0,00
11/05/2007 (Gradagem)	16,25	10,70	23,00	0,00
12/05/2007	16,19	12,10	21,70	0,00
14/05/2007	12,93	10,00	15,80	69,00
15/05/2007	17,20	11,30	23,80	0,00
16/05/2007	14,90	12,90	18,10	20,00
17/05/2007	12,81	8,80	17,90	44,00
18/05/2007	10,85	7,30	15,80	0,00
21/05/2007	17,90	15,60	22,00	20,00
23/05/2007	10,65	4,70	14,10	0,10
24/05/2007	7,39	3,90	13,20	0,00
29/05/2007 (Semeadura)	4,03	-1,60	10,30	0,00
30/05/2007	7,34	1,80	13,70	0,00
06/06/2007	14,18	6,30	23,30	0,00

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas

As condições climáticas de temperatura e precipitação registradas no período avaliado foram diferentes às históricas para o mesmo mês de maio. O regime diário de chuvas no período estudado é apresentado na Figura 6. O mês de maio caracterizou-se por apresentar grande volume de chuvas, com precipitação total de 179,1 mm, superando o registro histórico (anos 1974 – 2007) de 136,4 mm e correspondendo a um aumento em 23,8%. 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 pela emissão de C-CO₂.

A temperatura média do ar durante o período de avaliação de emissão de C-CO₂ (Tabela 2, Figura 6), foi de 15,6°C, sendo 20% menor que a média histórica (anos 1998 – 2007) para o mesmo mês. Representando temperaturas muito frias para a atividade microbiana.

4.2 Evolução de C-CO₂

As curvas de fluxo de C-CO₂, medidas neste estudo pelas duas câmaras: uma acoplada com LI-6400-09 (câmara dinâmica) e outra, câmara de PVC (câmara estática), nos dois sistemas de preparo e manejo do solo na rotação de culturas no inverno e no verão, durante os 30 dias de período de avaliação, foram ligeiramente diferentes em magnitude e tendência. A taxa média do fluxo de C-CO₂ dos sistemas avaliados com a câmara dinâmica variou entre 13,12 kg ha⁻¹dia⁻¹ no solo em PC e 17,73 kg ha⁻¹dia⁻¹ no solo em PD (Figura 7), portanto no PD houve um aumento no fluxo de C-CO₂ do solo equivalente a 26,15% em relação ao PC, contrastando com as medições registradas com a câmara estática que variaram entre 15,09 kg ha⁻¹dia⁻¹

¹ no solo em PC e 14,73 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no solo em PD (Figura 8). A similaridade entre os fluxos de C-CO₂ nos sistemas de preparo avaliados com a câmara estática concorda com os resultados de Campos (2006) neste mesmo experimento e período do ano, no entanto, o autor verificou emissões bem maiores (30%) de C-CO₂ do que as encontradas neste estudo. Este comportamento pode ser devido à maior precipitação e menor temperatura ocorrida durante a realização deste estudo em comparação à época avaliada por Campos (2006), que pode ter contribuído para menor atividade microbiana.

Os valores iniciais de fluxo de C-CO₂ dos sistemas de preparo do solo registrados pela câmara dinâmica para este estudo são diferentes aos encontrados por La Scala Jr et al. (2005) (entre 13,64 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no solo em PD e 18,82 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no solo em PC). Já o valor inicial registrado pela câmara estática está dentro dos valores encontrados por Aslam et al. (2000), em experimento de longa duração realizado na Nova Zelândia e no Norte da França.

Os valores de fluxo de C-CO₂ registrados estão dentro da faixa considerada como ideal (9,76 – 19,55 kg ha⁻¹ dia⁻¹), segundo a qualidade do solo avaliada pelo “Soil Quality Kit Test” em experimentos de longa duração (Conceição et al., 2005). Amado et al. (2007) encontraram em experimento de longa duração sob Argissolo no RS, maiores emissões de C-CO₂ sob PD (14,07 kg ha⁻¹ dia⁻¹) do que em PC (9,98 kg ha⁻¹ dia⁻¹) com a metodologia de câmara estática.

Com relação ao preparo do solo, o fluxo de C-CO₂ no solo medido com a câmara dinâmica, foi maior no solo em PD do que no solo em PC, mesmo nos primeiros dias depois do preparo com arado e gradagem. Esse comportamento seguiu até uma semana antes da semeadura, quando houve uma rápida diminuição do fluxo, invertendo a tendência anterior (Figura 7). Sendo explicado porque a temperatura no momento da aração estava muito baixa, abaixo do ótimo para a atividade microbiana.

No PC o preparo com o arado diminuiu o fluxo de C-CO₂ no solo em mais de 50% e com a gradagem aumentou aproximadamente em 35% quando comparado com o fluxo inicial nos primeiros dois dias avaliados. Posteriormente, as emissões diminuíram a um nível similar ou até mesmo menor ao valor inicial das avaliações.

Com as operações de aração no PC, a umidade do solo diminuiu, já no momento da gradagem esta tinha aumentado, o qual indica o efeito do preparo nas condições de umidade do solo.

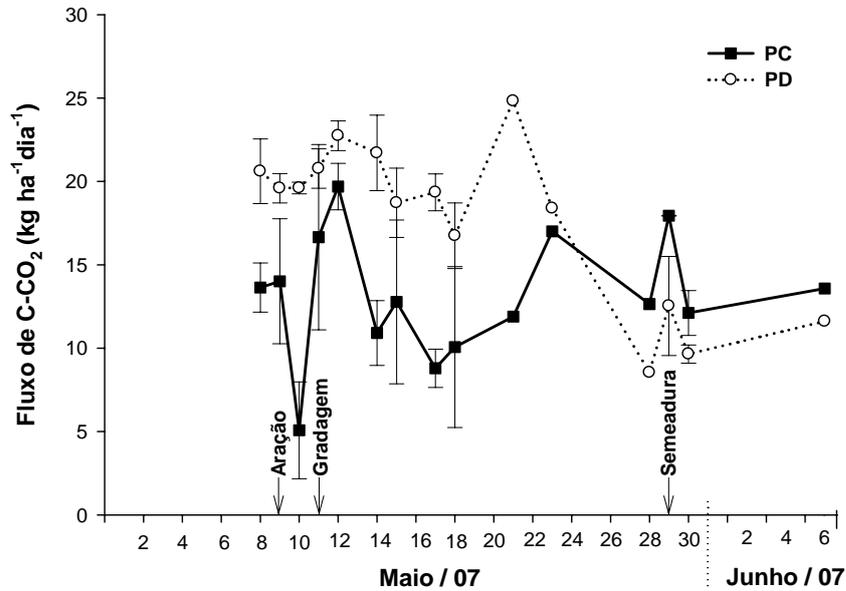


Figura 7 - Fluxos de C-CO₂ nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão avaliado com o LI-6400-09 (Câmara dinâmica). As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da média.

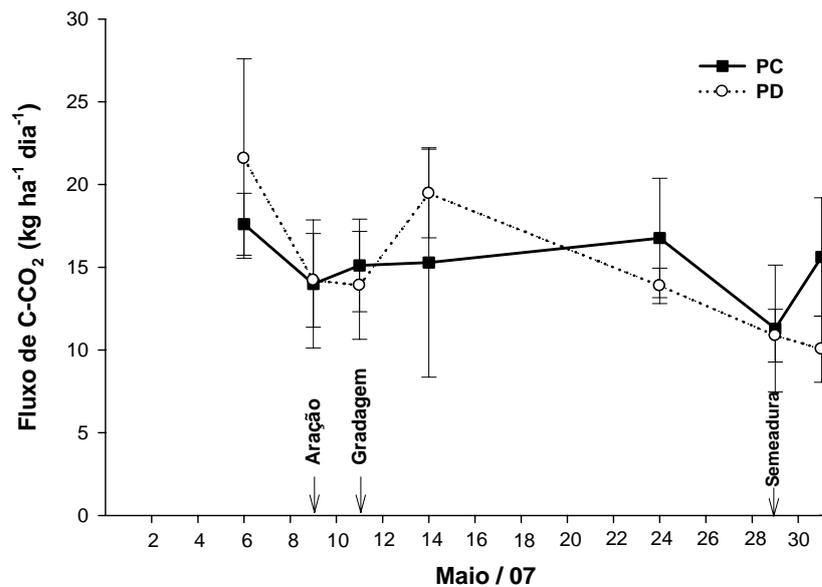


Figura 8 - Fluxos de C-CO₂ nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão avaliado com a Câmara de PVC (Câmara estática). As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da média.

Estes resultados contrastam com os obtidos por Reicosky (1997), que relatou que o arado é o implemento responsável pela maior emissão de C-CO₂. Neste estudo, mesmo com o aumento do fluxo no solo em PC, induzido pela gradagem, não superou a emissão de C-CO₂ proveniente do PD, só até uma semana antes da semeadura. A partir desse tempo até o final da avaliação (30 dias) houve maior emissão de C-CO₂ no solo em sistema com PC (Figura 7). Assim o efeito do preparo do solo, depende das condições climáticas do momento, indicando que se por alguma razão for necessário mobilizar o solo, se deve procurar fazê-lo quando as temperaturas são baixas, como as apresentadas durante o período de realização deste trabalho, para evitar perdas de C-CO₂ do solo.

Analisando-se os valores de fluxo de C-CO₂ do solo medidos com a câmara estática (Figura 8), observam-se valores iniciais similares entre os dois sistemas de preparo do solo, assim como gradual diminuição no fluxo depois do preparo com arado. Esta diferença na emissão de C-CO₂ nos sistemas foi menor que a registrada com a câmara dinâmica (LI-6400-09). Portanto, a câmara estática foi menos sensível a alterações de fluxo de curto prazo induzida por variações temporais de umidade e temperatura do que a câmara dinâmica. Os resultados obtidos por meio da câmara estática indicaram que a operação da gradagem afetou levemente a emissão de C-CO₂ do solo em PC, já com a câmara dinâmica foi evidenciada maior emissão de C-CO₂ após a gradagem.

Pelo método da câmara estática, registrou-se um aumento de fluxo de C-CO₂ no solo em PD, coincidindo também com os valores emitidos sob PC dois dias depois do preparo com gradagem, logo o fluxo apresenta rápida diminuição, praticamente uma semana depois da primeira amostragem, tendência que continuou até o final das avaliações. Houve maior fluxo de C-CO₂ no solo em PC captado pela câmara dinâmica na semeadura, sendo a diferença de fluxo entre os dois sistemas de preparo mais acentuada quando da utilização deste método. Na câmara dinâmica foi verificado um comportamento mais sensível às flutuações, enquanto na câmara estática houve um comportamento mais suavizado durante o período avaliado, não apresentado-se picos seguidos de decréscimos.

As curvas de emissão acumulada de C-CO₂ no solo para o período de 30 dias (Figura 9) nos dois sistemas de preparo de solo (PC e PD) medidas pelos dois métodos (câmara dinâmica e estática), apresentaram comportamentos diferentes. Nas medições com a câmara dinâmica, houve uma emissão acumulada de C-CO₂ maior em PD (490,86 kg ha⁻¹) quando comparado com o PC (381,78 kg ha⁻¹), uma diferença equivalente a 22%. Com a câmara estática as emissões acumuladas de C-CO₂ foram semelhantes nos dois sistemas, sendo levemente maiores em PC (354,51 kg ha⁻¹) que em PD (327,24 kg ha⁻¹), este último apresentando um decréscimo de 7,7%. Campos (2006), neste mesmo experimento encontrou uma emissão de C-CO₂ acumulada em PD de 18952 kg ha⁻¹ e em PC 17798 kg ha⁻¹, no entanto ele avaliou um período de 728 dias, contrastando neste estudo onde a emissão acumulada correspondeu a um período de 30 dias no qual o solo encontrava-se com resíduos da cultura de soja.

No PD existe a presença de resíduos de culturas na superfície do solo, fato que o diferencia do sistema PC, o qual praticamente não tem resíduos de cultura (Reicosky et al., 1997). Neste estudo, para as medições de C-CO₂ no solo, os resíduos da cultura da soja sob PC foram mantidos como se encontravam no campo. Portanto, esse fator deve ter contribuído para aumentar o fluxo de C-CO₂ no solo desse sistema já que os resíduos vegetais da cultura de soja por ter baixa relação C/N caracterizam-se pela rápida decomposição.

A diferença significativa entre as emissões acumuladas de C-CO₂ captadas com as câmaras estática e dinâmica nos sistemas de preparo do solo, pode ser explicada em parte pelas variações da temperatura que ocorrem no interior da câmara estática, devido ao período de tempo que fica inserida no solo (24 horas) em comparação à câmara dinâmica (no máximo 5 minutos). Na câmara estática os valores de emissão de C-CO₂ foram menores, provavelmente o fato de ser estática dificulta a captação das rápidas mudanças climáticas. No item 4.5 serão detalhadas as comparações entre câmaras e variáveis climáticas que influenciaram diretamente o fluxo de C-CO₂ para atmosfera.

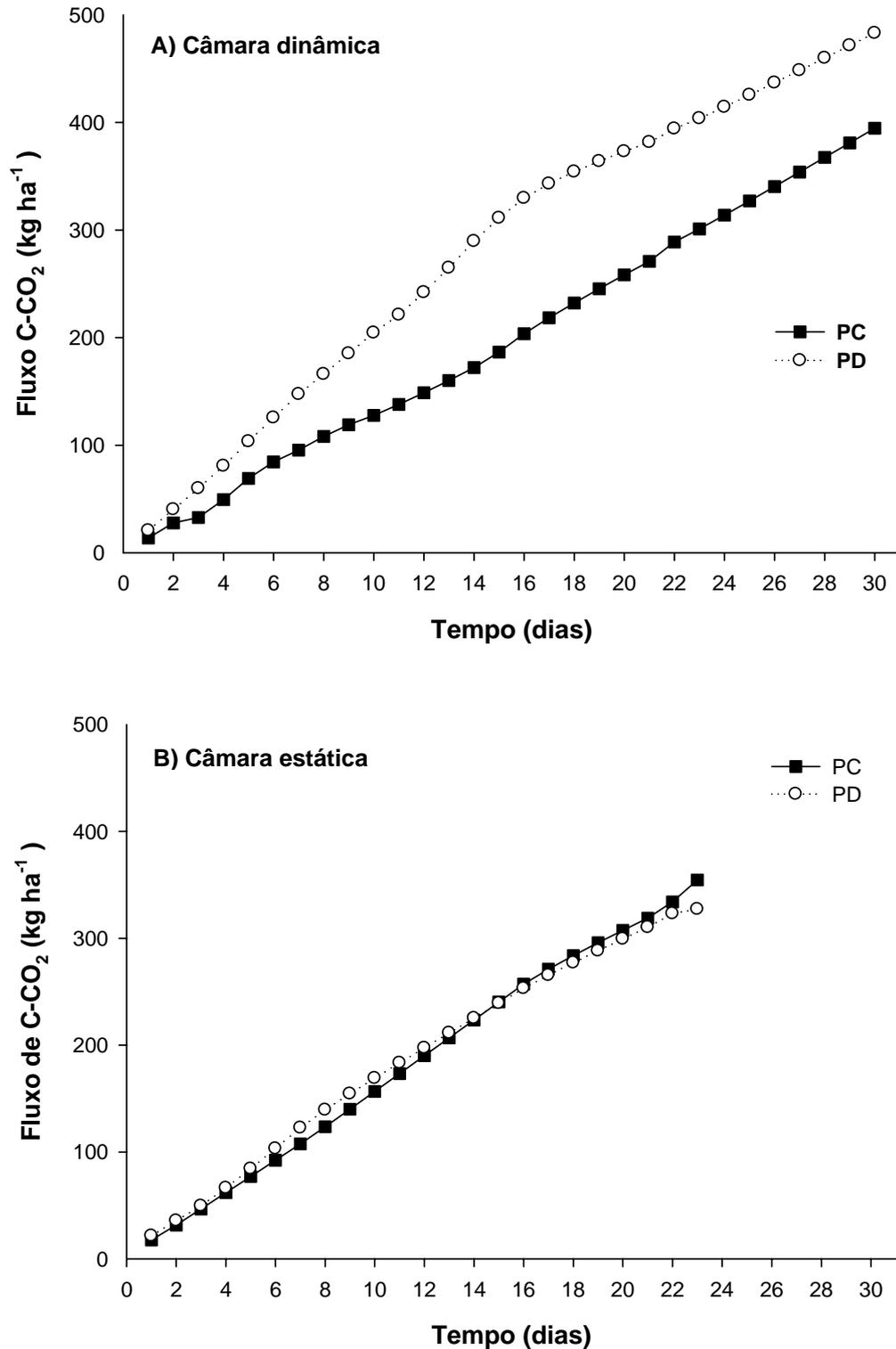


Figura 9 - Emissão acumulada de C-CO₂ em 30 dias nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão, avaliadas por os dois métodos; (a) Câmara dinâmica e (b) Câmara estática.

No sistema PC a aração remove e inverte as camadas inferior e superior, neste processo ocorre a fratura da estrutura do solo, porém ainda se mantém grandes torrões de solo. Já a gradagem promove a ruptura dos macroagregados expondo a matéria orgânica no interior destes agregados ao ataque de microrganismos.

Os principais efeitos 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 normalmente promove aumento de curta duração na atividade microbiana resultando em maior respiração e liberação de C-CO₂ do solo. Portanto, é de se esperar uma maior emissão de C-CO₂, com o preparo do solo. Entretanto não existe um consenso na literatura sobre a maior emissão de C-CO₂ no solo sob PC em relação ao PD. Especialmente quando se comparam sistemas de preparos de longa duração, onde a alteração das propriedades do solo pode regular mais a população microbiana do que os eventuais distúrbios ocasionados pelo preparo do solo. Incrementos no estoque de COT, carbono lábil, maior umidade, maior estoque de nitrogênio total, menor amplitude térmica, maior quantidade de resíduos aportados ao solo podem favorecer a maior atividade biológica sob PD. Neste caso a emissão de C-CO₂ passa a ser um indicador de qualidade do solo (Amado et al., 2001; Campos, 2006).

Reicosky et al. (1997), sugeriram que o revolvimento do solo no PC estimula a mineralização da matéria orgânica com o conseqüente aumento na emissão de C-CO₂ do solo. Esse aumento do fluxo ocorre imediatamente após o do preparo do solo, sendo que rapidamente ocorre uma acentuada diminuição na emissão, o que pode ocorrer em minutos ou horas (Reicosky, 1997). Este comportamento foi observado neste estudo (Figura 7), com um fluxo rápido de C-CO₂ após as intervenções no solo (aração, gradagem e semeadura) e diminuição do fluxo após aproximadamente 48 horas.

A explicação para esse fenômeno é que esse aumento inicial no fluxo é produto de processo físico do solo e não biológico. 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 3 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.

Neste estudo foi registrado o rápido aumento inicial do fluxo de C-CO₂ após o preparo como sugeriram Reicosky et al. (1997) e Aslam et al. (2000). A primeira medida de C-CO₂ no solo foi tomada logo após a operação com arado para registrar a emissão imediata. Com a gradagem se observou um rápido aumento na emissão de C-CO₂ no solo em PC, provavelmente devido à 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; 2004), 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. Já em solos tropicais, como os Latossolos, a proteção química pode ser o principal mecanismo de proteção de carbono (Zinn et al., 2005a; 2005b; Deneff et al., 2007; Fabrizzi et al., 2008). Neste caso, o impacto do preparo sobre a emissão de C-CO₂ pode ser menor do que o verificado em solos temperados.

4.3 Temperatura e umidade do solo relacionadas com a emissão de C-CO₂ no solo

Em geral, as temperaturas do solo registradas simultaneamente com as medições de C-CO₂, foram baixas e similares entre os dois sistemas de preparo do solo (Figura 10). Resultados similares foram encontrados por Al Kaisu & Yin (2005). Somente no final das avaliações houve uma diferença mais expressiva entre os tratamentos, sendo o aquecimento do solo mais rápido sob PC do que sob PD.

A temperatura do ar oscilou em torno de 15,6°C, durante o período de avaliação, havendo coincidência de baixa temperatura quando da aração. Ao contrário da temperatura do solo, a umidade gravimétrica foi diferenciada entre os dois sistemas de preparo do solo. Devido principalmente às operações de preparo

sob PC. O PD no período avaliado sempre se caracterizou pelos maiores valores de umidade, devido à adição e ao acúmulo de resíduos de culturas na superfície do solo, o que contribuiu para o aumento da umidade neste sistema, em relação ao PC. O longo tempo de adoção do sistema sem revolvimento proporcionou incremento superficial do teor de matéria orgânica (Campos, 2006). Segundo Reicosky (1997), a presença de palha também favorece a infiltração, pois preserva a porosidade superficial do impacto das gotas da chuva e diminui a enxurrada. Além disto, conserva a umidade, pois evita a ação do vento e dos raios solares diretos sob a superfície.

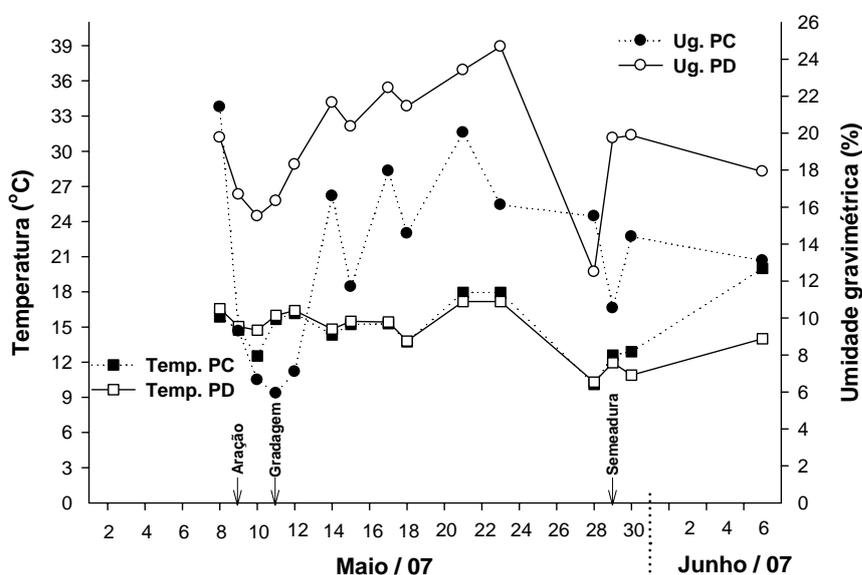


Figura 10 – Umidade gravimétrica (Ug.) e temperatura (Temp.) do solo, nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

A emissão de C-CO₂ do solo não é influenciada somente por processos físicos e biológicos no solo, mas os fatores ambientais como a temperatura e umidade do ar também são importantes como efeito indireto. Neste trabalho encontrou-se alto coeficiente de correlação ($r = 0,89$) e elevada significância ($P < 0,0001$) entre o fluxo de C-CO₂ no solo e temperatura do solo em PD, contrastando com o PC onde não houve correlação entre estas variáveis (Figura 11). A Figura 12 mostra que não houve correlação significativa entre o fluxo de C-CO₂ do

solo e a umidade do solo ($r = -0,22$ para PC e $r = 0,38$ para PD), avaliado com a câmara dinâmica.

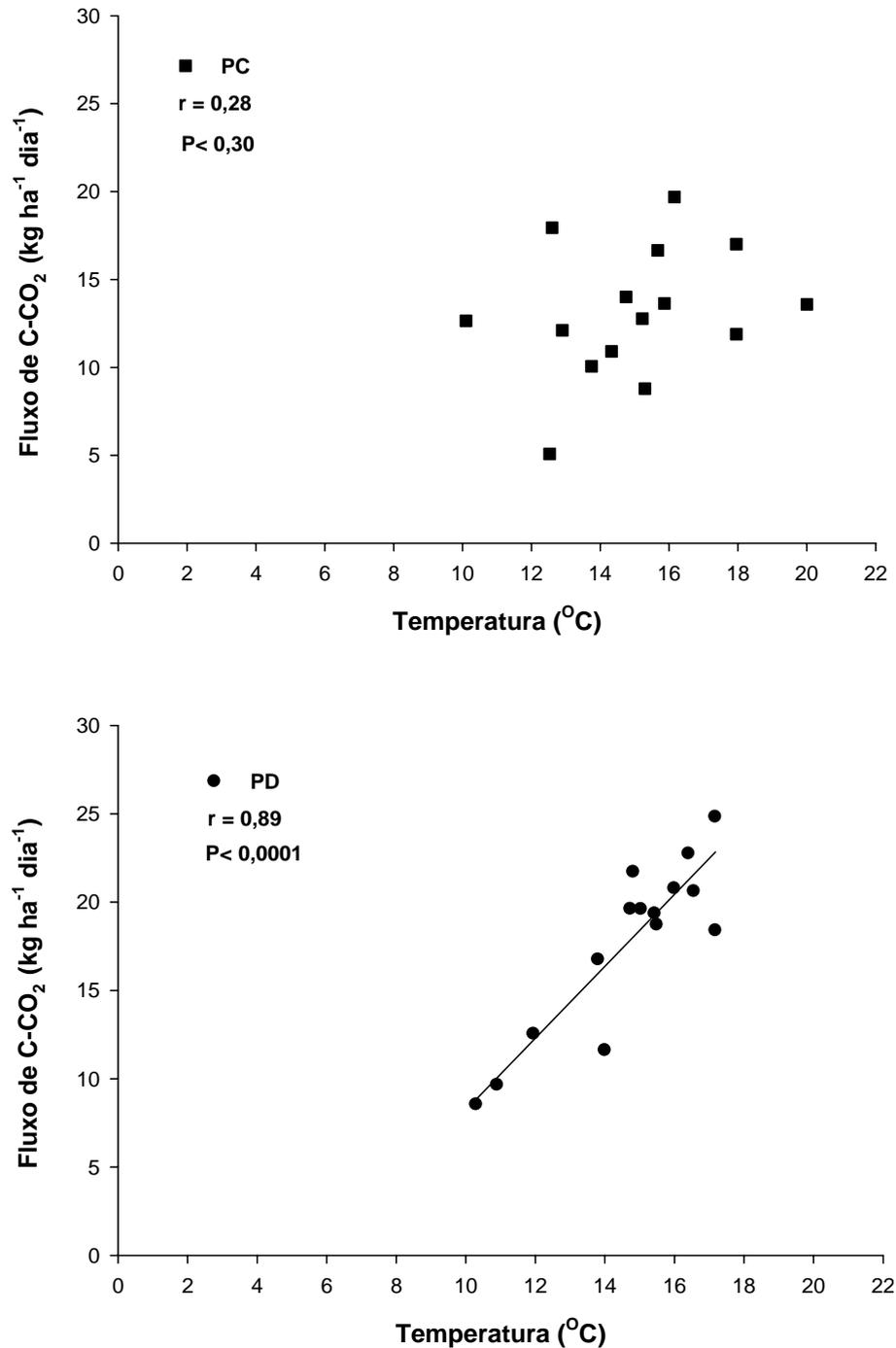


Figura 11 - Correlação entre fluxo de C-CO₂ do solo avaliado com LI-6400 e a temperatura média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

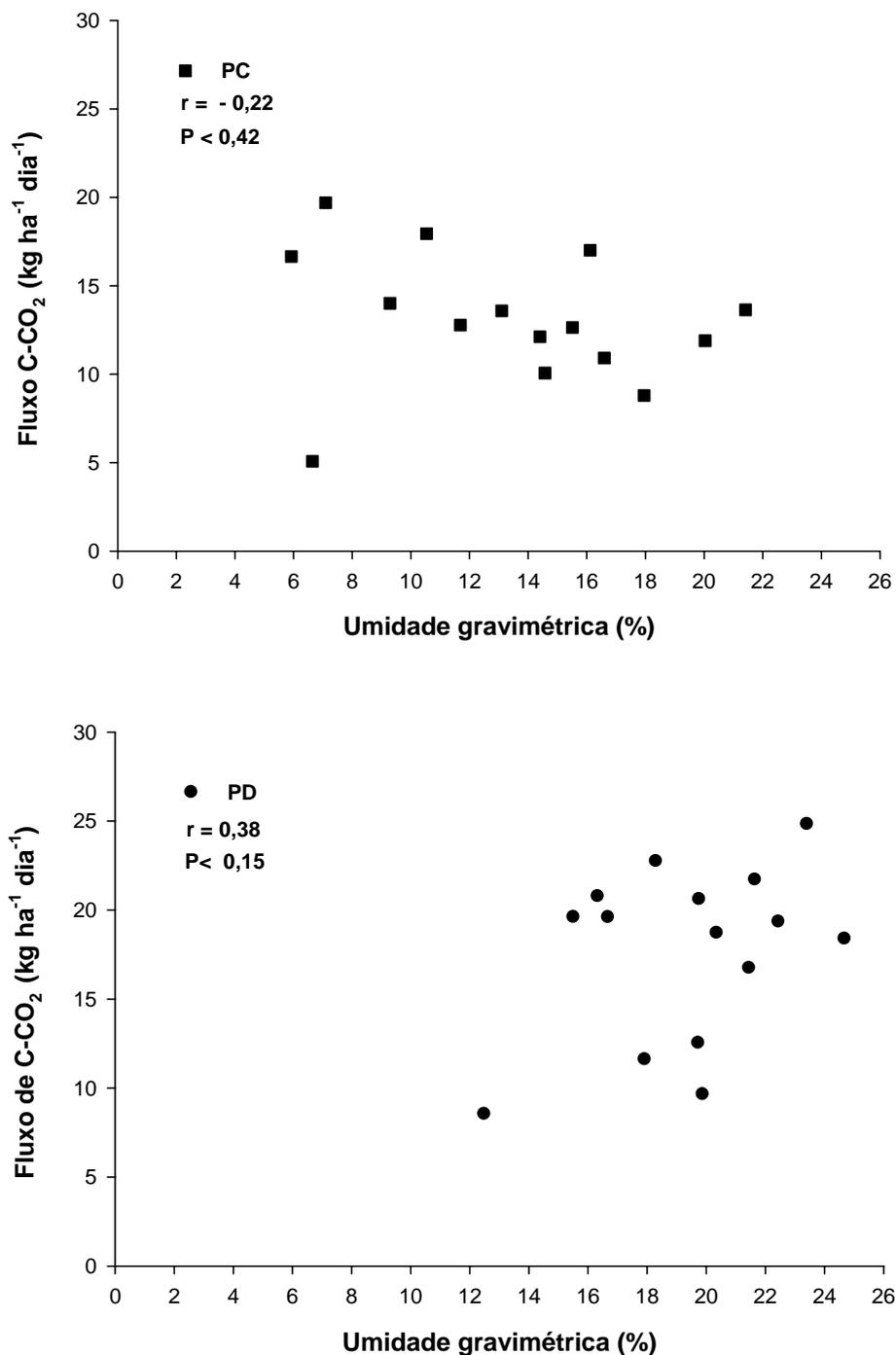


Figura 12 - Correlação entre fluxo de C-CO₂ do solo avaliado com LI-6400 e a umidade gravimétrica média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

No PD houve uma tendência da maior umidade e conseqüentemente maior porosidade preenchida por água (PPA) (Tabela 3), sendo acompanhada por maior emissão de C-CO₂, do que no PC, sendo que em este último sistema, a PPA

diminuiu drasticamente com as operações de preparo do solo (Tabela 3). A umidade do solo durante o período sempre esteve elevada e por isto provavelmente não tenha sido significativa a correlação desta variável com o fluxo de C-CO₂ do solo.

Tabela 3 - Valores médios da temperatura do solo, umidade gravimétrica do solo e porosidade preenchida por água.

Data (Preparo)	Sistema de Manejo do Solo					
	PC			PD		
	T. solo (°C)	Ug ----- (%) -----	PPA -----	T. solo (°C)	Ug ----- (%) -----	PPA -----
08/05/2007	15,87	21,41	58,48	16,56	19,76	53,98
09/05/2007 (Aração)	14,75	9,28	25,36	15,04	16,68	45,55
10/05/2007	12,53	6,64	18,14	14,73	15,51	42,36
11/05/2007 (Gradagem)	15,67	5,92	16,18	16,00	16,33	44,61
12/05/2007	16,16	7,09	19,36	16,41	18,30	49,99
14/05/2007	14,33	16,60	45,33	14,82	21,65	59,13
15/05/2007	15,22	11,69	31,93	15,49	20,36	55,60
17/05/2007	15,30	17,95	49,03	15,43	22,45	61,31
18/05/2007	13,75	14,57	31,04	13,81	21,45	45,69
21/05/2007	17,95	20,03	37,91	17,18	23,41	44,30
23/05/2007	17,95	16,11	28,44	17,18	24,68	43,56
28/05/2007	10,10	15,51	26,15	10,30	12,49	21,06
29/05/2007 (Semeadura)	12,60	10,53	17,19	11,95	19,73	32,20
30/05/2007	12,90	14,40	22,94	10,90	19,88	31,67
06/06/2007	20,00	13,10	20,47	14,00	17,92	28,01

A dependência existente entre a emissão de C-CO₂ e a temperatura 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 (Edwards, 1975; Cook & Orchard, 1983; Moncrieff & Fang, 2001; Subke et al., 2003).

As emissões de C-CO₂ do solo sob PD foram significativamente maiores do que sob PC no período avaliado, sendo este sistema considerado o de maior perda de C-CO₂. A colheita da soja foi realizada em 18/04/2007. Alguns autores têm

reportado maiores emissões de C-CO₂ na cultura da soja 30 dias após a colheita (Recous, 1995; Oorts et al., 2007; Campos, 2006). 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. (Recous, 1995; Oorts et al., 2007).

Nesse sentido, as maiores emissões de C-CO₂ no PD ocorreram nas primeiras avaliações, realizadas aos 20 dias após a colheita da soja e continuando este mesmo comportamento até os 34 dias após a colheita (Figura 7). No decorrer do período verificou-se uma diminuição gradual da emissão, apresentando o valor mais baixo no último dia avaliado quando provavelmente a fração lábil dos resíduos já tinha sido decomposta. No entanto, este comportamento não foi evidenciado sob PC (Figura 8), que continuou emitindo mais C-CO₂.

Goulden et al. (2004) encontraram que quanto maiores os aportes de resíduos vegetais, maiores serão as fontes para o efluxo de C-CO₂; devido ao fato desta matéria orgânica fresca, associada com a temperatura, e a umidade no solo, representarem basicamente os elementos que estariam controlando as perdas de C-CO₂ para atmosfera.

Na literatura é reportado que as temperaturas registradas no solo durante o verão são geralmente maiores em sistemas sob PC do que em PD (Fortin et al., 1996; Dao, 1998; Kessavalou et al., 1998a; Alvarez et al., 2001), indicando que, a temperatura do solo será diferente entre sistemas de preparo principalmente quando a temperatura do ar for elevada. Quando a temperatura do ar for baixa o solo tende a apresentar valores semelhantes entre os sistemas de preparo, como verificado neste estudo durante o período avaliado (houve geada) (Figura 10), provavelmente este fato representa as condições de outono/inverno do RS. Resultados semelhantes foram encontrados anteriormente por Al Kaisi & Yin (2005).

Durante as avaliações das emissões de C-CO₂ no solo, captadas com a câmara estática e dinâmica nos sistemas de preparo do solo, foram registradas as temperaturas até 0,10 m de profundidade, fato que pode ter contribuído para a ausência de diferenças, pois nessa profundidade as diferenças entre sistemas de preparo são menores. Não foi verificada correlação significativa entre o fluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo (Figura 13).

No PD não foi observada correlação linear significativa entre fluxo de C-CO₂ e umidade do solo ($r = 0,12$) (Figura 14), ao contrário do verificado sob PC ($r = 0,66$), o que indicou neste caso uma maior dependência entre emissão 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.

O solo sob PD, com a presença de resíduos na superfície, tem um efeito na diminuição e incidência direta dos raios solares sobre o solo, reduzindo a perda de umidade (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990a; 1990b; Salton & Mielniczuk, 1995), evitando aumento excessivo da temperatura, como ocorre em PC, conseqüentemente, reduz o efluxo de C-CO₂ para atmosfera sob PD.

Para Smith et al. (2003), a liberação de C-CO₂ no solo pela atividade microbiana (respiração aeróbia) é uma função não linear da temperatura ao longo de um gradiente de concentração e de conteúdos de água do solo, mas torna-se uma função do conteúdo da água à medida que o solo vai perdendo umidade, a qual é regulada pela temperatura do ar.

Avaliações de curta duração como esta (30 dias) provavelmente não são as mais apropriadas para estabelecer este tipo de relação, que necessitaria maior tempo a fim de capturar uma maior amplitude de variação de temperatura e umidade em função das estações do ano.

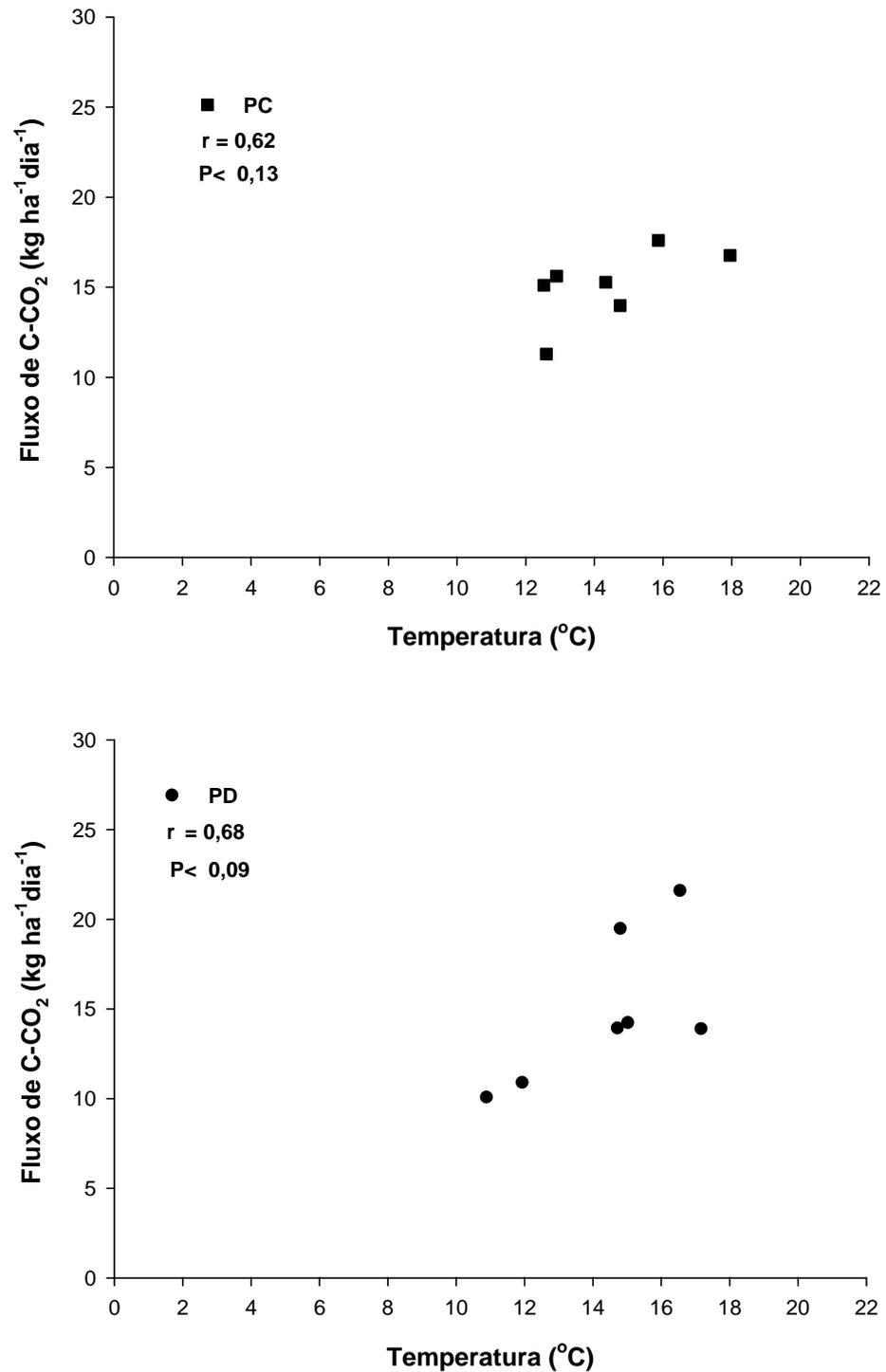


Figura 13 - Correlação entre fluxo de C-CO₂ do solo avaliado com câmara estática e temperatura média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

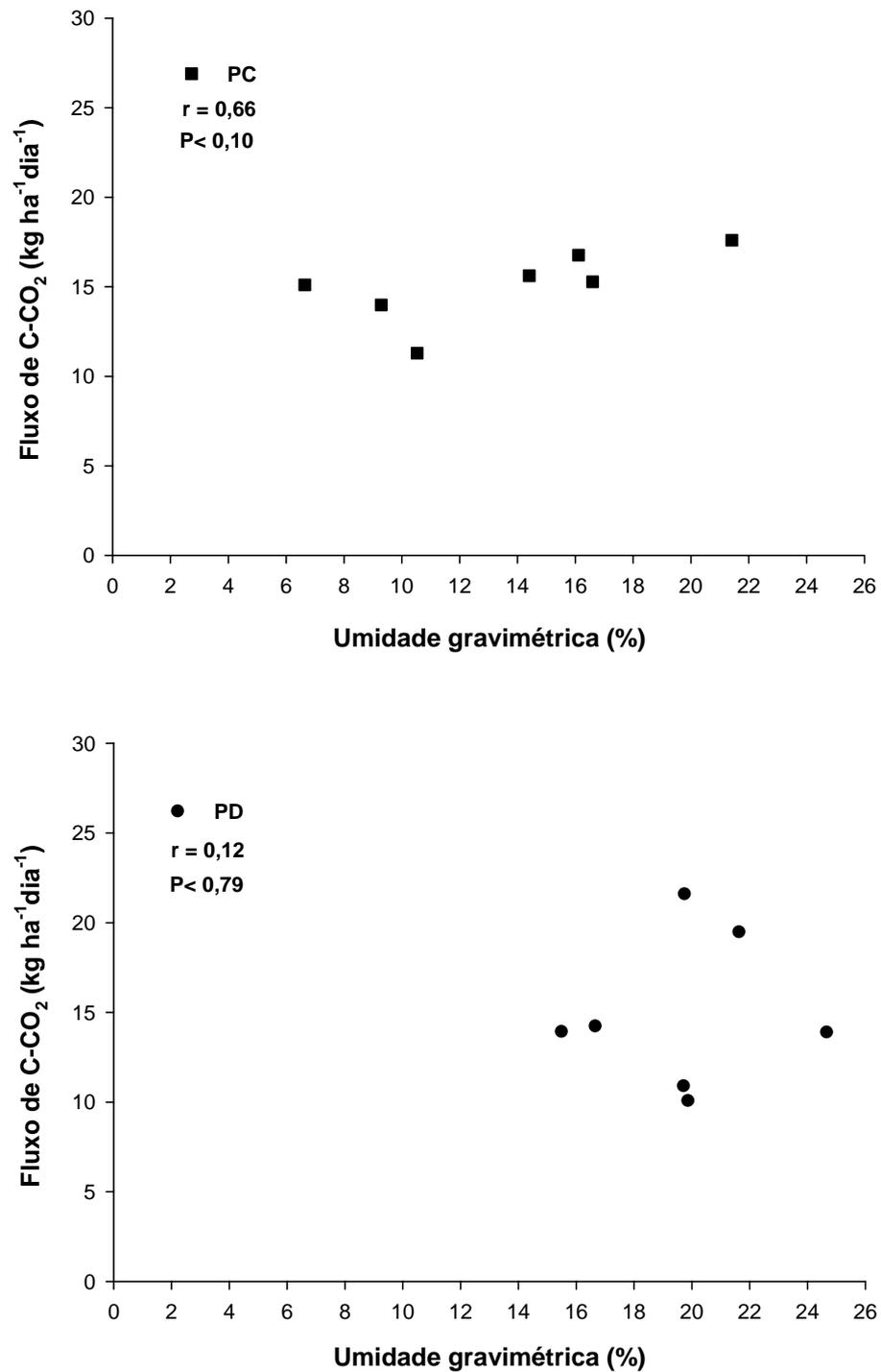


Figura 14 - Correlação entre fluxo de C-CO₂ do solo avaliado com Câmara estática e a umidade gravimétrica média diária do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

Muitos 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 emissão 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.

4.4 Distribuição e estoque de carbono orgânico total e particulado no perfil do solo

Neste estudo, o fluxo de C-CO₂ do solo é o resultado de uma complexa interação entre o clima e diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo (Oorts et al., 2007). Os sistemas de preparo do solo utilizados atualmente para o estabelecimento de sistemas de produção agrícola intensiva (PC e PD) no RS, podem afetar esses processos e atuar no ciclo de carbono, através do seqüestro de carbono no solo na forma de MOS, ou através da liberação de C-CO₂ para atmosfera, com importantes implicações no aquecimento global. Portanto, considerando as demandas por produtividade e por preservação ambiental faz-se necessário combinar sistemas de culturas e sistemas de preparo do solo que aumentem a MOS.

A MOS pode ser dividida em compartimentos e sua classificação engloba biomassa vegetal viva, resíduos vegetais na superfície e incorporados no solo em diferentes estados de decomposição (Mielniczuk, 1999). Assim a MOS é formada por uma grande variedade de compostos de carbono que podem ser encontrados em forma não protegida, denominada como carbono orgânico particulado (COP), ou em forma protegida, referida como fração da matéria orgânica associada aos minerais (COAM) (Bayer et al., 2001; Conceição, 2002). Mudanças no uso da terra e manejo do solo afetam mais o COP que o COT (Carbono Orgânico Total) (Gajda et al., 2001). Os estudos de Deneff et al. (2004) sugerem que o COAM é formado durante a

decomposição da matéria orgânica particulada e estabilizado através da ligação de MOS com as argilas. No tratamento analisado verifica-se que existia maior COT, COAM e COP no PD em relação ao PC (Tabela 4). Proporcionalmente o COP foi o compartimento que foi mais incrementado com a adoção do PD, assim na camada de 0-0,05 m neste sistema, a relação COP/COT foi de 18%, sendo que no PC foi de 13% (Tabela 4).

Tabela 4 - Estoque de carbono em diferentes frações (COP, COAM, COT) e profundidades do solo sob rotação de culturas no inverno e no verão, sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), pelo método da massa equivalente.

Profundidade (m)	COT		COAM		COP		COP / COT	
	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
	----- Mg ha ⁻¹ -----						----- (%) -----	
0-0,05	14,77	17,77	12,92	14,57	1,86	3,20	13,0	18,0
0-0,10	27,68	30,26	24,70	26,37	2,99	3,89	11,0	13,0
0-0,20	49,02	51,55	45,18	47,21	3,84	4,33	8,0	8,0
0-0,30	67,84	71,28	63,68	66,61	4,16	4,66	6,0	7,0

Fonte: Adaptado de Campos (2006). As amostragens foram feitas após a cultura de soja.

Analisando a distribuição de carbono orgânico (Tabela 4), em suas diferentes frações dentro do estoque total no solo, no sistema de rotação de cultura de inverno e verão onde se mediu a emissão de C-CO₂, e considerando o perfil do solo que está compreendido de 0-0,05; 0-0,10; 0-0,20 e 0-0,30 m, o estoque de COT sempre tendeu a ser maior no PD, do que no PC em todas as camadas do perfil analisado (Campos, 2006).

Essa diferença entre os dois sistemas se deve principalmente ao estoque de COP nos primeiros 0,05 m de profundidade (Tabela 4), porque o estoque de COAM, apesar de ser também sempre um pouco maior em PD, em ambos os sistemas oscila dentro do mesmo intervalo, provavelmente porque depois de 19 anos de implantação deste experimento o sistema se estabilizou ou os compartimentos ainda estão aumentando tanto o COP e COAM sob PD. Alguns autores também têm encontrado o mesmo resultado de maior COT em PD próximo à superfície do solo (West & Post, 2002; Quincke et al., 2007)

As práticas agrícolas afetam o balanço de carbono no solo, neste estudo o PC teve pouco impacto em aumentar a emissão de C-CO₂ do solo, o que pode estar relacionado ao mecanismo de proteção de carbono. Em estudos realizados por Zinn et al. (2005; 2005a; 2005b), ficou comprovado que existe uma relação linear entre a concentração de óxidos de Fe e Al e o C associado aos minerais. Segundo Fabrizzi et al. (2008), nos Latossolo o principal mecanismo de proteção de carbono é o químico, enquanto o mecanismo biológico tem um papel secundário e complementar. Já nos solos temperados o principal mecanismo de proteção de carbono é o físico (nos agregados) que depende da atividade biológica (raízes, microrganismos). Assim o preparo do solo por quebrar os agregados vai ter maior impacto nos solos temperados provocando maior fluxo de C-CO₂, já nos solos tropicais ricos em óxidos de Fe e Al devido a maior proteção química o impacto do preparo será menor. Os decréscimos históricos do teor de MOS sob PC são então explicados pela erosão e mudança no sistema de cultura com menor aporte de resíduos.

Segundo Dick et al. (1991) e Omonode et al. (2006), as maiores mudanças nos teores de carbono orgânico do solo sob PD ocorreram durante os primeiros 10 anos de implantação do sistema.

Com relação à emissão de C-CO₂ no solo, nos dois sistemas de preparo PC e PD, observou-se que o valor acumulado de C-CO₂ foi maior em PD (aumento de 22%) (Figura 9), sendo as diferenças mais pronunciadas no período inicial das avaliações (nas duas primeiras semanas) (Tabela 5), quando a temperatura não foi tão baixa.

As maiores emissões de C-CO₂ do solo observadas nas três primeiras semanas em PD podem ser em parte explicadas pelo maior estoque de COT na superfície do solo neste sistema e também parcialmente pela presença de resíduos da cultura da soja na superfície que mantém a temperatura e umidade do solo favoráveis para sua decomposição. Este fato provavelmente está relacionado à presença de resíduos de soja facilmente decomponível (durante os primeiros 20 dias avaliados).

Tabela 5 - Emissão acumulada de C-CO₂ em preparo convencional e plantio direto em dois períodos: de aração à semeadura (21 dias) e após a semeadura (10 dias), em rotação de culturas no inverno e no verão, avaliado com a câmara dinâmica.

Manejo do solo	Evolução acumulada de C-CO ₂					
	Aração – Semeadura (21 dias)		Após semeadura (10 dias)		Total	
	Total	Média diária	Total	Média diária	Período	Média diária
	----- kg ha ⁻¹ -----					
PC	272,70	12,98	109,08	10,91	381,78	12,32
PD	381,78	18,16	109,08	10,91	490,86	15,83

As câmaras estática e dinâmica utilizadas para avaliar as emissões de C-CO₂ foram instaladas com a presença dos resíduos de culturas, sendo que o preparo do solo foi realizado aos 20 dias depois da colheita de soja. A adição de resíduos de culturas ao solo através do preparo altera a taxa de decomposição e o teor de carbono orgânico do solo (Recous, 1995; Christensen, 1996).

Os resíduos vegetais presentes na superfície do solo podem ser considerados MOS com importantes efeitos sobre o solo (Bayer & Mielniczuk, 1999), tais como menor oscilação da temperatura, maior teor da umidade e controle de erosão (Campos, 2006). Segundo Palm & Sanchez (1991) e Thomas & Asakawa (1993), a velocidade de decomposição dos resíduos das culturas, pode ser influenciada principalmente pelo seu conteúdo de lignina e polifenóis. Neste estudo as medições de fluxo de CO₂ foram feitas depois da colheita de soja, como as folhas secas nesta cultura começam a cair desde antes da sua colheita, desde esse momento pode-se considerar como MOS e como os resíduos de soja são pobres em ligninas e poli fenóis, os microrganismos podem começar rapidamente a sua decomposição com a conseqüente emissão de C-CO₂.

A incorporação de resíduos no PC pode acelerar o processo de decomposição porque aumenta o contato do solo com resíduos culturais, assim poderia-se esperar uma maior emissão de C-CO₂ neste sistema. Porém a mineralização do carbono em resíduos com maiores teores de nitrogênio e compostos solúveis é menos independente de sua localização no solo (Bremer et al., 1991; Abiven & Recous, 2007). Uma provável explicação para essa menor emissão

de C-CO₂ no PC poderia ser que com o preparo do solo, os resíduos superficiais facilmente decomponíveis foram levados para as camadas mais profundas do solo, onde provavelmente há um menor número de microrganismos (Aslam et al, 2000; Campos, 2006). No PD a adição de resíduos é maior devida à melhoria das condições de qualidade do solo (Campos, 2006).

Para este estudo no PC, entre outros fatores, destacam-se a incorporação dos resíduos da colheita com o preparo, o menor estoque de COP nos primeiros 0,05 m de profundidade do solo e a não correlação significativa ($P < 0,13$) entre fluxo de C-CO₂ e temperatura, como variáveis que podem ter contribuído para explicar a menor emissão de C-CO₂ no solo nessas primeiras 3 semanas após aração. Fabrizzi et al. (2008) nestes mesmos tratamentos encontraram maior biomassa microbiana sob PD do que no PC. As diferenças eram maiores principalmente na camada de 0-0,05 m.

Franzluebbers et al. (1995) mediram a emissão de C-CO₂ do solo em diferentes rotações de culturas (sorgo-trigo/soja; trigo/soja-sorgo; trigo/soja), sob PD e PC e concluíram que a mudança de PC para PD pode ter aumentado o seqüestro de carbono no solo e diminuído a perda como C-CO₂ inicialmente, sendo que o solo sob PD emitiu quantidades maiores ou similares de C-CO₂ do que o PC dependendo da seqüência de cultura em rotação, como efeito do maior teor de carbono orgânico do solo. Os autores também encontraram uma correlação significativa entre a emissão de C-CO₂ e o aporte de carbono via resíduos no sistema, mas não com o teor de COT.

Neste estudo, a magnitude da emissão de C-CO₂ induzida pelo preparo do solo foi dez vezes menor do que a registrada por Reicosky et al. (1997) em solos de clima temperado no outono. Após o final do ciclo da soja acredita-se que havia uma intensidade muito grande de atividade microbiana que foi responsável pela emissão de C-CO₂, considerando também a decomposição de raízes finas; neste caso o efeito da adição de resíduos de soja seria o principal fator responsável pela emissão de C-CO₂ do solo, superando inclusive o distúrbio provocado pelo preparo.

Sendo assim, a localização dos resíduos no perfil do solo representa grande importância na determinação das práticas de manejo e de preparo do solo, associada aos fatores ambientais e ao próprio solo (Reicosky et al., 1997).

Yamulki & Jarvis (2002) ressaltam que o C-CO₂ pode possuir vida útil relativamente longa no solo e sua emissão depende, principalmente, do tipo de manejo adotado para sua conservação no solo. O efeito de preparo do solo e da mobilização dos resíduos culturais, como no caso de PC, facilita a oxidação e decomposição da MOS por parte dos microrganismos presentes no solo.

Campos (2006) reportou para este mesmo experimento, na média de 19 anos, uma adição de resíduos de soja no PD de 3140 kg ha⁻¹ e de 2940 kg ha⁻¹ em PC. No entanto, no período avaliado neste estudo não foi observada esta tendência, na safra agrícola da soja 2006/2007, no PD produziu menor quantidade de palha (4246 kg ha⁻¹) do que o PC (5179 kg ha⁻¹), possivelmente pelo fato das plantas de soja no PD terem ficado mais acamadas, prejudicando assim a produção de grãos, que também foi maior no PC. A maior emissão de C-CO₂ no PD com resíduos da soja reflete a elevada atividade biológica do sistema e a presença de resíduos de fácil decomposição. Não é descartada também a hipótese de que o PD avaliado, por ser um sistema maduro, esteja próximo do platô de acúmulo de carbono no solo, justificando assim a maior emissão de C-CO₂ quando comparado com o PC.

Os resultados encontrados sugerem que durante a fase da soja num ciclo de rotação de culturas o incremento do teor de matéria orgânica no PD seja limitado pela elevada respiração do ecossistema. Neste caso, as alternativas para alcançar a meta de incremento do teor de matéria orgânica é a inclusão de culturas de cobertura e o uso do milho.

As emissões de C-CO₂ neste trabalho foram feitas num período curto de tempo, mas os resultados obtidos forneceram indicação de que a dinâmica de seqüestro/decomposição de carbono é um processo complexo. Nela participam diferentes fatores, os quais necessitam de uma avaliação que integre diferentes sistemas de culturas e anos de implantação, parâmetros envolvidos nos processos de decomposição de cada cultura, a contribuição de cada fração de carbono que

compõe do COT, temperatura do ar e solo, umidade e medições periódicas em longo prazo.

4.5 Comparação das câmaras de captação de C-CO₂

Houve diferença significativa entre as emissões de C-CO₂ captadas pelas duas câmaras quando foram avaliados os sistemas de preparo do solo, como pode ser observado nas Figuras 15 e 16, onde se visualiza o comportamento das emissões avaliadas com as câmaras.

Os valores obtidos com as duas metodologias são próximos, mas a câmara dinâmica registrou emissões de C-CO₂ superiores à câmara estática sob PD, já no PC as avaliações não apresentaram esta tendência e os valores de emissão se alternaram com as duas câmaras. Como o PD apresentou maior emissão, especialmente nas primeiras três semanas, pode ter havido efeito de maior concentração na câmara com menor fluxo, pois a emissão depende da diferença de gradiente.

A captação de C-CO₂ pelas duas câmaras ocorreu de forma diferenciada durante o período de avaliação, sendo que os valores de emissão de C-CO₂ entre os sistemas de manejo do solo foram diferentes entre as câmaras (Figuras 15 e 16).

O PD apresentou maior fluxo de C-CO₂ captado com a câmara dinâmica nas primeiras avaliações (Figura 16).

Os dados obtidos no PC indicaram que o fluxo de C-CO₂ é maior após o manejo do solo através da aração e gradagem (Figura 15), o que indica que houve interação entre as câmaras e o preparo do solo. No entanto, este sistema pareceu manter o fluxo relativamente estável ao longo do período, já o fluxo de C-CO₂ no PD foi alto ao início das avaliações e diminuiu com o tempo. Provavelmente é o efeito dos resíduos facilmente decomponíveis. Como foi discutido anteriormente.

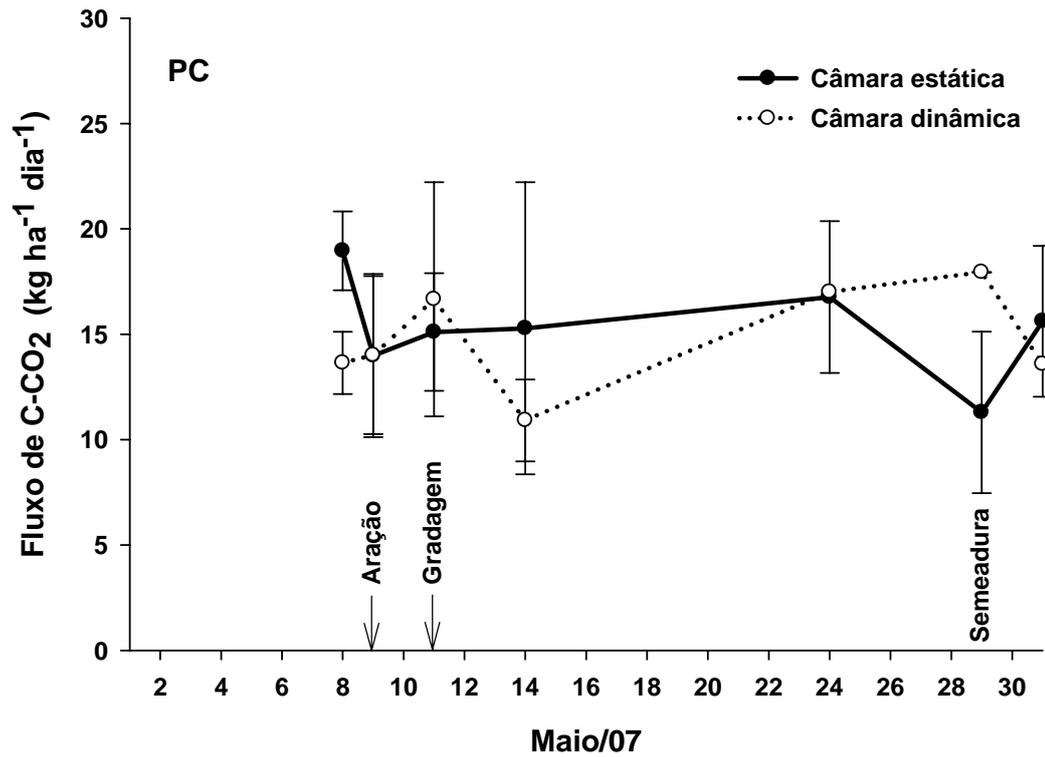


Figura 15 – Fluxos de C-CO₂ medidos por duas câmaras de captação sob preparo do solo convencional em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

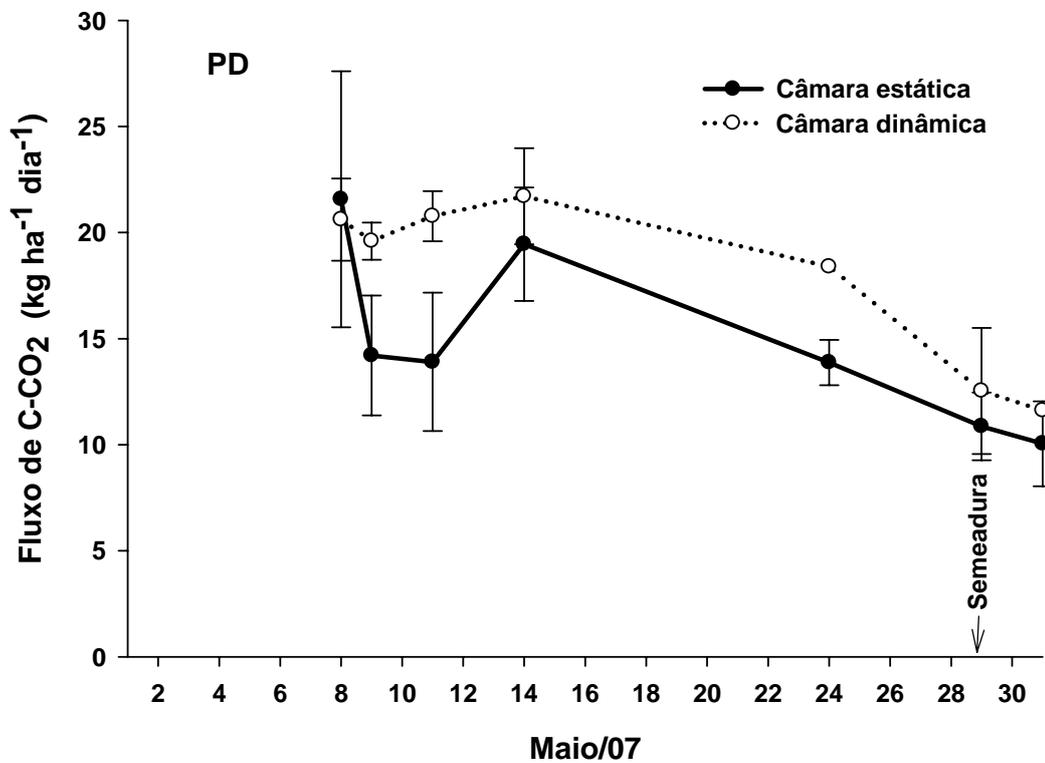


Figura 16 – Fluxos de C-CO₂ medidos por duas câmaras de captação sob plantio direto em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

A correlação entre as emissões de C-CO₂ do solo captadas com as duas câmaras (estática e dinâmica) nos sistemas de preparo do solo (PC e PD) é apresentada na Figura 17. Observa-se correlação significativa entre as duas câmaras que medem o fluxo de C-CO₂ do solo em PD ($r = 0,81$; $P < 0,02$), no entanto no PC esta relação não foi significativa. Em parte, este resultado pode ser explicado pelo fato do fluxo de C-CO₂ medido com a câmara dinâmica não representar grandes variações (no interior) com a temperatura, devido à câmara permanecer pouco tempo sobre o solo. Além disso, como o solo apresenta elevada capacidade térmica, esta influência torna-se desprezível. Em contrapartida, quando se utilizam câmaras estáticas, recomenda-se cobrir a câmara com materiais refletores, já que é visto que o aumento da temperatura interna no equipamento modifica a emissão dos gases traços, subestimando assim o gradiente de concentração de C-CO₂ (Hutchinson & Livingston, 1993), o que pode ter repercutido nos valores do fluxo de C-CO₂ para este estudo.

Outro aspecto a considerar é que o preparo do solo gera irregularidade na superfície, rugosidade que foi maior quando da aração, e menor na gradagem e semeadura. Assim, avaliar a emissão de C-CO₂ nestas condições de irregularidade na superfície com um diâmetro pequeno (no caso da câmara dinâmica) torna-se mais difícil sob PC.

Neste estudo, a utilização de câmaras com dimensões diferentes provavelmente ocasionou desigualdade na representatividade do fluxo de C-CO₂ do solo nos sistemas de preparo. A câmara estática provavelmente se adequou melhor ao tamanho dos torrões oriundos da aração e da gradagem. Isto contrasta com a câmara dinâmica, onde houve maior limitação de representatividade da rugosidade superficial resultante do preparo do solo.

Reicosky et al. (1997), estudando emissões de C-CO₂ do solo com o uso de câmaras de distintas dimensões, encontraram resultados diferentes de acordo com o tamanho da câmara e concluíram que as emissões calculadas com a câmara de menor diâmetro representaram 10% das emissões obtidas com a câmara de diâmetro maior.

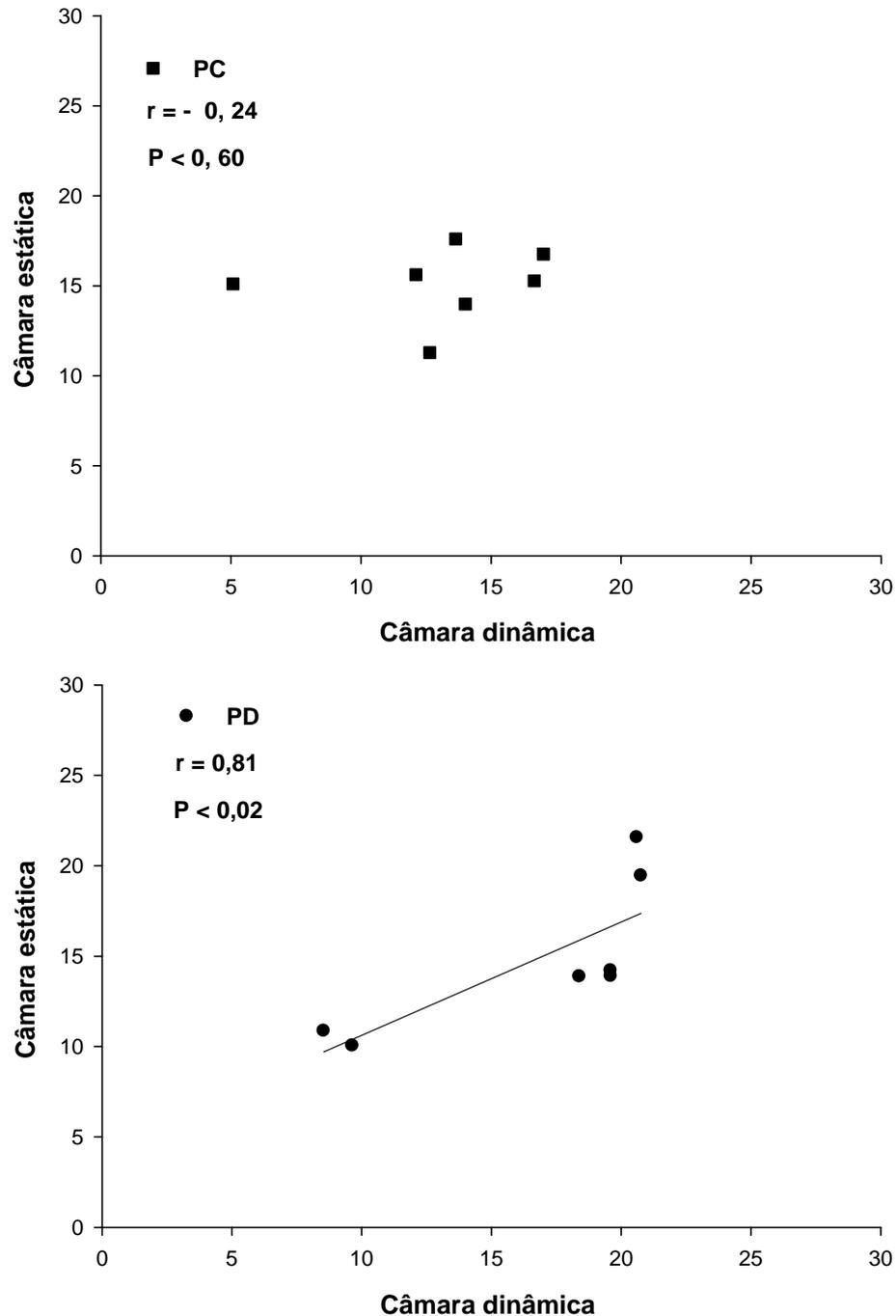


Figura 17 – Correlação entre duas câmaras de captação de fluxo de C-CO₂ sob preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação de culturas no inverno e no verão.

Os autores levantaram as seguintes hipóteses: a) o diâmetro da campânula menor não permitiu uma medida representativa nos solos cultivados, nos quais as fendas e os torrões excediam a dimensão da campânula; b) a área superficial sob a

campânula maior foi proporcionalmente aumentada, devido à irregularidade e à rugosidade do terreno.

Outros estudos também indicam que existe uma diferença significativa nos fluxos medidos por câmaras de diferentes dimensões (Le Dantec et al., 1999; Janssens et al., 2000). Entretanto, é difícil distinguir se essas variações são causadas pelas diferentes câmaras ou são atribuídas à variabilidade espacial do solo (Drewitt et al., 2002). Estas estimativas podem variar de acordo com o ecossistema, época do ano e metodologias de trabalho (Souza, 2004).

Outro aspecto importante a respeito das emissões de gases pelo solo, está relacionado à instalação da câmara quando o solo encontra-se úmido. Isso porque pode gerar uma mudança no vapor de água no solo, a qual provoca uma mudança do ar interno na câmara, resultante da difusão da concentração de C-CO₂, causando o aumento da taxa de C-CO₂ na câmara (Reicosky et al., 1997; 1999; Rustand et al., 2000; Davidson et al., 2000; Janssens et al., 2001; Sotta et al., 2004; Salimon et al., 2004).

Os erros mais freqüentes ocorrem quando o solo está bastante úmido, o que torna o efluxo menor, porque em condições onde o solo fica exposto ao sol, há um aumento rápido do vapor de água interno na câmara, gerado pela mudança da temperatura do ar. Este aumento do vapor de água no espaço da câmara muda também a diluição do C-CO₂ do solo, influenciando na medida (Freijer & Bouten, 1991; Nay et al., 1994; Raich & Potter, 1995; Jensen et al., 1996; Russell & Vooney, 1998).

A principal discussão dos resultados obtidos no presente estudo na comparação com as câmaras, é a relação de dependência que existe entre o efluxo de C-CO₂ do solo e a variação de temperatura e umidade durante a avaliação. A menor temperatura e maior umidade verificadas no outono concorrem para um menor efluxo sob PC. Este fato deve-se à colinearidade entre temperatura e umidade, as quais exercem controle significativo nas emissões de C-CO₂, concordando com os trabalhos realizados por Reicosky et al (1997; 1999). Esta informação pode indicar que em caso de necessidade de promover revolvimento do

solo sob PD, isto deveria ser feito durante o período de menor temperatura, pois a emissão de C-CO₂ induzida pelo preparo tende a ser menor.

Existem diversos estudos que apresentam resultados referentes à emissão C-CO₂ do solo, no entanto, não estão padronizados nem estabelecidos os valores críticos e/ou aceitáveis de fluxo de C-CO₂ para os diferentes agroecossistemas (Reiscoosky et al., 1997; 1999; Russell & Vooney, 1998; Rustad et al., 2000).

No tempo de avaliação curto em que se realizou este estudo não foi possível obter suficientes dados que permitissem diminuir a alta variabilidade dos mesmos, embora este fato seja comum em estudos de emissões de gases, o qual exigem um maior número de dados para a verificação mais precisa e adequada das correlações.

5 CONCLUSÕES

O PD manteve maior umidade do solo do que o PC durante a maior parte do período avaliado (30 dias); a temperatura do solo foi semelhante entre os sistemas de preparo, diferindo somente na última semana, quando o PC apresentou maior temperatura do que o PD.

As emissões de C-CO₂ sob Latossolo Vermelho foram 22% superiores no PD em relação ao PC. Esta maior emissão de C-CO₂ foi relacionada com o maior estoque de carbono na camada superficial do solo, à presença de resíduos de soja facilmente decomponíveis, à maior umidade do solo e à maior atividade biológica devido à melhoria da qualidade do solo em relação ao PC.

Os valores médios diários de emissão de C-CO₂ foram 15,84 e 12,33 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para o PD e PC respectivamente. As maiores emissões no PD foram verificadas logo após a colheita devido à adição dos resíduos de soja, com o fluxo decrescendo no final do período, quando a emissão foi semelhante à verificada no PC.

No PC foi verificado um incremento do fluxo de C-CO₂ quando das operações de preparo (aração, grade de disco e semeadura), este fluxo teve duração aproximada de 48 horas. O fluxo foi mais prolongado quando das operações da aração e da grade de disco e foi mais curto quando da semeadura. No PD a semeadura também induziu aumento do fluxo de C-CO₂. As condições de umidade e temperatura do solo influenciaram a intensidade destes fluxos.

As emissões de C-CO₂ captadas com a câmara dinâmica (LI-6400-09) foram correlacionadas significativamente com as emissões da câmara estática (Câmara de PVC) no PD. No entanto, não apresentaram relação no PC.

6 RECOMENDAÇÕES

Em caso de necessidade de promover revolvimento do solo, isto deveria ser feito durante o período de menor temperatura, pois a emissão de C-CO₂ induzida pelo preparo tende a ser menor.

Sugerem-se avaliações de longo prazo para captar efeitos de temperatura e umidade do solo sobre as emissões de C-CO₂ no solo.

Considerando que no PD foi verificada uma emissão de C-CO₂ logo após a adição de resíduos da soja seria importante implantar o quanto antes a próxima cultura visando fazer fotossíntese e compensando assim esta emissão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVEN, S.; RECOUS, S. Mineralization of crop residues on the soil surfaces or incorporated in the soil under controlled conditions. **Biology and Fertility of Soils**, 43, p. 849-852, 2007.

AITA, C. **Couplage des cycles du carbone et de l'azote dans les sols cultivés: Étude, au champ, des processus de décomposition après apport de matière organique fraîche.** 1996, 209f. Tese (Doutorado) - Université Paris, Sciences de la Terre, Paris, 1996.

AL-KAISI, M.M.; YIN, X. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**, 34, p. 437-445, 2005.

ALVAREZ, R.; ALVAREZ, C.R.; LORENZO, G. Carbon dioxide fluxes following tillage from a Mollisol in the Argentine rolling pampa. **European Journal of Soil Science**, 37, p. 161-166, 2002.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, p. 679-686, 1999.

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 melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25, p. 189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "soil quality kit Test" em dois experimentos de longa duração No Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, p. 109-121, 2007.

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.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANES, M. Relationship of soil organic matter dynamic to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, 53, p. 215-230, 2000.

BALL, B.C.; SCOTT, A.; PARKER, J.P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, 53, p. 29–39, 1999.

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

BAYER, C. **Dinâmica e qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. *In* Santos, G.A.; Camargo, F.A. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, p. 9-26, 1999.

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**, 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. 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**, Viçosa, v.24, p. 599-607, 2000a.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, 65, p. 473-1478, 2001.

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

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

BOLLER, W.; KLEIN, V.A.; DALLMEYER, A. U. Semeadura de milho em solo sob preparo reduzido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 123-130, 1998.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.91-98, 1990a.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.369-374, 1990b.

BUYANOVSKY, G.A.; WAGNER, G.H.; GANTZER, C.J. Soil respiration in a winter wheat ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, 50, p. 338–344, 1986.

BREMER, E.; HOUTUM, W.V.; KESSEL, C.V. Carbon dioxide evolution from wheat and lentil residues as affected by guinding, added nitrogen, and absence of soil. **Biology and Fertility of Soils**, 11, p. 221-227, 1991.

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

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 32 (1), p. 40-44, 2007.

CHIAPINOTTO, I.C. **Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto**. 2003, 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *In* Carter, M.R.; Stewart, B.A. (eds). Structure and organic matter storage in agricultural soils. CRC Press, Inc. p. 97-165, 1996.

CONCEIÇÃO, P.C. **Indicadores de qualidade do solo visando à avaliação de sistemas de manejo do solo**. 2002, 125f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29, p. 777-788, 2005.

COOK, F.J.; ORCHARD, V.A. Relationship between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.15, n.4, p. 447-53, 1983.

DAO, T.H. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Paleustoll. **Soil Science Society of America Journal**, 62, p. 250–256, 1998.

DAVIDSON, E.A.; VERCHOT, L.V.; CATTÂNIO, H.; ACKERMAN, I.L.; CARVALHO, E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern amazonia. **Biogeochemistry**. v. 48, p. 53–69, 2000.

DENEF, 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.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDRAS, N.; KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. GTZ/IAPAR, 272p. 1991.

DICK, W.A.; MCCOY, E.I.; EDWARDS, W.M.; LAL, R. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, 83, p. 65-73, 1991.

DREWITT, G.B.; BLACK, T.A.; NESIC, Z.; HUMPHREYS, E.R.; ORK, E.M.; SWANSON, R.; ETHIER, G.; GRIFFIS, T.; MORGENSTERN, K. Measuring forest floor CO₂ fluxes in a Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.100, p. 299-317, 2002.

EDWARDS, N.T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. **Soil Science Society of America Journal**, Knoxville, v.39, n.2, p. 361-5, 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro : EMBRAPA-Solos, 1999. 412p. (EMBRAPA-Solos. Documentos, 15)

FABRIZZI, K.; RICE, C.; FIORIN, J.E.; BARBAGELATA, P.; MELCHIORI, R. Soil Organic Matter and Microbial Ecology of Mollisols, Vertisols and Oxisols: Effect of Native and Agroecosystems. **Biogeochemistry**, 2008 (No Prelo).

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**, 60, p. 1541–1547, 1996.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. **Soil & Tillage Research**, 34, p. 41-60, 1995.

FREIJER, J.I.; BOUTN, W. A comparison of field methods for measuring soil carbon dioxide evolution: experiments and simulation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 135, p. 133-142, 1991.

FREITAS, H.C. **Efluxo de CO₂ do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondônia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o modelo SiB2**. *Dissertação de mestrado*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2001.

GAJDA, A.M.; DORAN, J.W.; KETTLER, T.A.; WIENHOLD, B.J.; PIKUL, JR. J.L.; CAMBARDELLA, C.A. **Soil Quality evaluations of alternative and conventional management systems in the Great Plains**. In Lal, R. et al (ed). *Assessment methods for soil carbon*. Lewis Publ., Boca Raton, FL, p. 381-400, 2001.

GARNIER, P.; NEEL, C.; AITA, C.; RECOUS, S.; LAFOLIE, F.; MARY, B. Modelling carbon and nitrogen dynamics in a bare soil with and without straw incorporation. **European Journal Soil Science**, 54, p. 555–568, 2003.

GOULDEN, M. L.; MILLER, D.S.; MENTON, M.C.; ROCHA, H.R.; FREITAS, H.; FIGUEIRA, A. **Diel and Seasonal pattern of tropical Forest CO₂ Exchange**. (*Journal Ecol. Application*, no prelo), 2004.

HANSON, P.J.; WULLSCHLEGER, S.D.; BOHLMAN, S.A.; TODD, D.E. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. **Tree Physiology**, 13, p. 1-15, 1993.

HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. **Soil Science Society of America Journal**, 60, p. 740-747, 1996.

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**, 12, p. 135–148, 1998.

HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. **Use of chamber systems to measure trace gas fluxes**. Agricultural Ecosystem Effects on Trace Gases and Global Climate Change, 55, p. 63-78, 1993.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Synthesis Report**. Summary for Policymakers. IPCC Plenary XVIII. Wembley, UK. 34p. 2001.

JANZEN, H.H. The soil carbon dilemma: shall we hoard I or use it? **Soil Biology & Biochemistry**, 38, p. 419-424, 2006.

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

JANSSENS, I.A.; KOWALSKI, A.S.; LONGDOZ, B.; CEULEMANS, R. Assessing forest soil CO₂ efflux: an *in situ* comparison of four techniques. **Tree Physiology**. v.20, p. 23-32, 2000.

JENSEN, L.S.; MUELLER, T.; TATE, K.R.; ROSS, D.J.; MAGID, J.; NIELSEN, N.E. Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ: a comparison of two chamber methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v28, p. 1297-1306, 1996

KESSAVALOU, A.; DORAN, J.W.; MOSIER, A.R.; DRIJBER, R.A. Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheatfallow cropping system. **Journal of Environmental Quality**, 27, p. 1105–1116, 1998a.

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

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.

LA SCALA JR, N.; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CAMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. **Soil & Tillage Research**, 84, p. 222-225, 2005.

LE DANTEC, V.; EPRON, D.; DUFRÊNE, E. Soil CO₂ efflux in a beechforest: comparasion of two closed dynamic systems. **Plant and Soil**, v.214, p.125-132, 1999.

LINN, D.M.; DORAN, J.W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soil. **Soil Science Society of America Journal**, 48, p. 1267-1272, 1984.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.1-8, 1999.

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.

MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Secção de Geografia, 38p. 1961.

NAY, S.M.; MATTSON, K.G.; BORMANN, B.T. Biases of chamber methods for measuring soil CO₂ efflux demonstrated with a laboratory apparatus. **Ecology**. Tempe, v.75, p. 2460-2463, 1994

ONOMODE, R.A.; GAL, A.; STOTT, D.E.; ABNEY, T.S.; VYN, T.J. Short-term vs. continuous chisel and no-till effects on soil carbon and nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, 70, p. 419-425, 2006.

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.

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legume as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology & Biochemistry**, 23, p. 83-88, 1991.

PANOSSO, A.R. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade em Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada**. Jaboticabal, 2006. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2006.

QUINCKE, J.A.; WORTMANN, C.S.; MAMO, M.; FRANTI, T.; DRIJBER, R.A. Occasional tillage of no-till systems: carbon dioxide flux and changes in total and labile soil organic carbon. **Agronomy Journal**, 99, p. 1158-1168, 2007.

RAICH, W.; POTTER, C.S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. **Global biochemical Cycles**. v.9, p. 23-36, 1995.

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.

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.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, 85, p. 1237-1243, 1993.

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.; DUGAS, W.A.; TORBERT, H.A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, 41, p. 105-118, 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, p. 153-165, 1999,

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Macrozoneamento agroecológico e econômico. Porto Alegre: SAA/EMBRAPA-CNPT, v.2, p. 57, 1994.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p. 2006.

RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta, FUNDACEP, 134p. 1995.

RILLING, M.C.; MUMMEY, D.L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist** 171, p. 41-53, 2006.

RUSSEL, C.A.; VORONEY, R.P. Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.78, p. 301-310, 1998

RUSTAND, L.E.; HUNTINGTON, T.G.; BOONE, R.D. Controls on soil respiration: implication for climate change. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 1-6, 2000.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; FILHO, S.P.V.B.; 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**, 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.

SAS INSTITUTE INCORPORATION. **The SAS System for Windows release 6.12** (software). Cary, 1996.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Evangraf, 285p. 2006.

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.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, 79, p. 7-31, 2004.

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**, 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.

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

SOUZA, S. **Dinâmica espacial e temporal do fluxo de CO₂ do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central**. 2004. 62f. Dissertação de Mestrado. INPA/UA, Manaus, 2004.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EMATER/RS; UFRGS, 126p. 2002.

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**, Australia, v.35, n.11, p. 1467-1483, 2003.

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, 25, p. 1351-1361, 1993.

TISDALL, J.M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**, 159, p. 115-121, 1994.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, 33, p. 141-163, 1982.

TEBRUGGE, F.; DURING, R.A. Reducing tillage intensity a review of results from a long-term study in Germany. **Soil & Tillage Research**, 53, p. 15–28, 1999.

WATSON, G.; RICE, C.W. Tillage and nitrogen effects on soil microbial community structure. **Agronomy Abstracts**. ASA, Madison, WI, 2004.

WEST, T.O.; POST, W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 66, p. 1930-1946, 2002

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.

YAMULKI, S.; JARVIS, S.C. Short-term effects of tillage and compaction on nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, methane and carbon dioxide fluxes from grassland. **Biology and Fertility of Soils**, 36, p. 224–231, 2002.

ZANCHI, F.B.; GOMES, B.M.; VAN RANDOW, C.; KRUIJT, B.; MANZI, A.O. **Medições dos fluxos de dióxido de carbono e estimativa do “fetch” (área de influência) em pastagem e floresta em Rondônia. 1o Congresso de Estudantes do LBA, ciclagem e armazenamento do Carbono**, p. 13, 2002.

ZINN, Y.L. **Textural, mineralogical and structural controls on soil organic carbon retention in the Brazilian cerrados**. Dissertation presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor in Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University. 2005.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks through agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, 84, p. 1-13, 2005a.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Texture and organic carbon relation described by a profile pedotransfer function in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, 127, p. 168-173, 2005b.

8 APÊNDICES

Apêndice 1 - Dados gerais de fluxo de C-CO₂ (kg ha⁻¹ dia⁻¹) obtidos na câmara estática.

Manejo	Rep.	Data de coleta com a câmara estática						
		6/5/2007	9/5/2007	10/5/2007	14/5/2007	24/5/2007	29/5/2007	31/5/2007
		Fluxo de C-CO ₂						
		kg ha ⁻¹ dia ⁻¹						
PD	1	19,04	13,78	10,66	17,13	12,82	10,61	7,47
PD	2	19,62	17,14	18,06	21,72	15,34	10,89	10,97
PD	3	30,49	15,42	14,80	21,82	13,44	9,03	9,62
PD	4	17,14	10,49	12,08	17,14	13,87	12,92	12,12
PC	1	15,29	10,30	16,76	11,71	19,14	13,22	13,57
PC	2	16,94	11,38	11,52	7,31	14,85	5,55	11,96
PC	3	18,62	15,60	14,36	20,20	20,38	12,98	19,99
PC	4	19,53	18,67	17,79	21,90	12,69	13,41	16,96

Apêndice 2 - Dados gerais de fluxo de C-CO₂ (kg ha⁻¹ dia⁻¹) obtidos na câmara dinâmica.

Data	Preparo	PC			PD		
		C-CO ₂	Temp. solo	Ug	C-CO ₂	Temp. solo	Ug
		kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	°C	(%)	kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	°C	(%)
8/5/2007		13,64	15,87	29,62	20,61	16,56	27,50
9/5/2007	Arado	14,01	14,75	14,01	19,60	15,04	23,53
10/5/2007		5,08	12,53	10,61	19,60	14,73	22,02
11/5/2007	Gradagem	16,66	15,67	9,68	20,77	16,00	23,08
12/5/2007		19,69	16,16	11,18	22,74	16,41	25,62
14/5/2007		10,91	14,33	23,42	21,71	14,82	29,93
15/5/2007		12,78	15,22	17,10	18,72	15,49	28,26
17/5/2007		8,80	15,30	25,17	19,35	15,43	30,96
18/5/2007		10,07	13,75	20,82	16,74	13,81	29,67
21/5/2007		11,89	17,95	27,85	24,83	17,18	32,20
23/5/2007		17,01	17,95	22,80	18,39	17,18	33,83
28/5/2007		12,65	10,10	22,02	8,54	10,30	18,14
29/5/2007	Semeadura	17,94	12,60	15,62	12,53	11,95	27,46
30/5/2007		12,11	12,90	20,60	9,65	10,90	27,65
6/6/2007		13,58	20,00	18,92	11,61	14,00	25,13

Apêndice 3 – Dados gerais da temperatura do ar, mínima e máxima diária, obtidos na estação Meteorológica da FUNDACEP, Cruz Alta, RS.

Estação	Data	Temp. Ar	Temp. Min.	Temp. Max.
Fundacep	06/05/2007	21,57	18,50	28,30
Fundacep	07/05/2007	14,53	10,30	18,70
Fundacep	08/05/2007	9,11	5,00	13,90
Fundacep	09/05/2007	8,73	2,90	14,60
Fundacep	10/05/2007	13,04	6,90	20,20
Fundacep	11/05/2007	16,25	10,70	23,00
Fundacep	12/05/2007	16,19	12,10	21,70
Fundacep	13/05/2007	12,14	10,60	13,50
Fundacep	14/05/2007	12,93	10,00	15,80
Fundacep	15/05/2007	17,20	11,30	23,80
Fundacep	16/05/2007	14,90	12,90	18,10
Fundacep	17/05/2007	12,81	8,80	17,90
Fundacep	18/05/2007	10,85	7,30	15,80
Fundacep	19/05/2007	11,23	6,30	17,60
Fundacep	20/05/2007	16,58	10,00	23,80
Fundacep	21/05/2007	17,90	15,60	22,00
Fundacep	22/05/2007	16,84	14,30	20,80
Fundacep	23/05/2007	10,65	4,70	14,10
Fundacep	24/05/2007	7,39	3,90	13,20
Fundacep	25/05/2007	10,12	2,50	18,30
Fundacep	26/05/2007	12,26	4,90	19,40
Fundacep	27/05/2007	13,38	7,40	19,70
Fundacep	28/05/2007	8,97	2,90	14,70
Fundacep	29/05/2007	4,03	-1,6	10,30
Fundacep	30/05/2007	7,34	1,80	13,70
Fundacep	31/05/2007	11,15	4,70	18,20
Fundacep	01/06/2007	12,23	8,00	16,40
Fundacep	02/06/2007	9,04	5,20	14,70
Fundacep	03/06/2007	9,32	3,90	17,20
Fundacep	04/06/2007	10,73	3,70	19,30
Fundacep	05/06/2007	12,46	4,80	21,80
Fundacep	06/06/2007	14,18	6,30	23,30