

Medidas do Fluxo de CO₂ do Solo pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado



Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 151

Medidas do Fluxo de CO₂ do solo pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado

Eloisa Aparecida Belleza Ferreira
Dimas Vital Siqueira Resck
Antônio Carlos Gomes

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Fotos da capa: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2005): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

F383m Ferreira, Eloisa Aparecida Belleza.

Medidas do fluxo de CO₂ do solo pelos métodos da absorção alcalina e analisador de gás infravermelho em diferentes sistemas de manejo no Cerrado / Eloisa Aparecida Belleza Ferreira, Dimas Vital Siqueira Resck, Antônio Carlos Gomes. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

28 p.— (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X; 151)

1. Manejo do solo. 2. Carbono. 3. Arado de aivecas. 4. Arado de discos. 5. Plantio direto. I. Resck, Dimas Vital Siqueira. II. Gomes, Antônio Carlos. III. Título. IV. Série.

631.4 - CDD 21

© Embrapa 2005

Sumário

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Fluxo médio de CO ₂ medido por absorção alcalina (AA) e analisador de gás por infravermelho (IRGA) em diferentes sistemas de manejo ..	12
Correlação entre os métodos de absorção alcalina (AA) e o analisador de gás por infravermelho (IRGA)	19
Efeito da temperatura do ar e do solo nos fluxos de CO ₂	22
Conclusões	23
Referências	23

Medidas do Fluxo de CO₂ do Solo pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado

Eloisa A. Belleza Ferreira¹

Dimas V. S. Resck²

Antônio Carlos Gomes³

Resumo – Avaliou-se, neste trabalho, o efeito de sistemas de manejo no fluxo de CO₂ do solo numa rotação soja-milho, durante um período de 398 dias, de abril de 2000 a maio de 2001, em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, na Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal. Foram selecionadas uma área com vegetação de Cerrado (CE) e seis parcelas de um experimento de longa duração (20 anos): arado de discos pré-plantio (ADPP); arado de discos pós-colheita (ADPC); plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos em 1979 (PDAD); arado de aivecas pré-plantio (AVPP); arado de aivecas pós-colheita (AVPC); e plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas em 1979 (PDAV). Utilizaram-se dois métodos: um estático, onde o fluxo de CO₂ foi medido por absorção alcalina (AA) em câmaras fechadas; e um método dinâmico que mediu a concentração de CO₂ por ondas do infravermelho (IRGA). O maior fluxo de CO₂ foi observado durante os meses de verão, no período chuvoso. Houve correlação positiva entre o fluxo de CO₂ e as temperaturas do solo e do ar. O fluxo anual de CO₂ estimado variou de 7.127 kg C-CO₂ ha⁻¹ no sistema AVPP pelo método AA, até 14.213 kg C-CO₂ ha⁻¹ encontrado no CE, pelo método IRGA. Verificou-se que o método IRGA forneceu, em média, valores 26% maiores que o método AA. Quando não considerado o efeito dos tratamentos, foi encontrada correlação de 0,61 (p<0,01) entre ambos os métodos.

Termos para indexação: fluxo de CO₂, carbono orgânico, arado de discos, arado de aivecas, plantio direto, Latossolo.

¹ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, eloisa@cpac.embrapa.br

² Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados, dvsresck@cpac.embrapa.br

³ Matem. Bioest., D.Sc., Embrapa Cerrados, acarlos@cpac.embrapa.br

Soil CO₂ Fluxes Measurement by Alkali Absorption and Infrared Gas Analyser Methods Under Different Management Systems in the Cerrado

Abstract – CO₂ flux at the soil surface was measured in a long-term field experiment (20 years), under a corn-soybean crop rotation at Embrapa Cerrados, in Planaltina, Federal District. Six management systems were selected: disk plow before planting (ADPP); disk plow after harvesting (ADPC), no-till after disk plowing in the first year, 1979 (PDAD); moldboard plow before planting (AVPP); moldboard plow after harvesting (AVPC), no-till after moldboard plowing in the first year, 1979 (PDAV) and a virgin area of Savanna type vegetation, Cerrado (CE). CO₂ flux at the soil surface was determined by two methods: a static classical soil chamber method using alkali (KOH) as CO₂ trapper (AA); and a dynamic portable infrared CO₂ gas analyser (IRGA). These measurements were taken in a period of 398 days from April 2000 to May 2001. The greatest CO₂ flux was observed during the summer time, i.e., the rainfall period. There was a positive correlation between CO₂ flux and both air and soil temperature. Estimated annual CO₂ flux ranged from 7,127 kg C-CO₂ ha⁻¹ in the AVPP treatment (AA method) to 14,213 kg C-CO₂ ha⁻¹ for the CE treatment (IRGA method). IRGA method gave values 26% greater than the AA method, on average. A correlation value of 0.61 ($p < 0,01$) between both methods was obtained when not considering the treatments effect.

Index terms: CO₂ flux, organic carbon, disk plow, moldboard plow, no-till, Latosol.

Introdução

O estoque global de carbono distribui-se em quatro principais reservatórios: os oceanos, a atmosfera, os ecossistemas terrestres e as formações geológicas que contêm C fóssil e mineral. Esses reservatórios estão em equilíbrio, podendo a alteração em um deles determinar mudanças nos outros ([LAL et al., 1995](#)). O maior reservatório de carbono da biosfera é representado pela matéria orgânica do solo, proveniente da decomposição, pelos macro e microrganismos, de vegetais e de animais mortos. Em média, o solo contém 2,5 vezes mais carbono orgânico que a vegetação e duas vezes mais carbono que a atmosfera ([BATJES, 1998](#)).

A respiração do solo é caracterizada pela liberação de CO₂ e representa toda sua atividade biológica incluindo raízes de plantas, macrorganismos (como minhocas, nematóides e insetos) e microorganismos. A respiração microbiana resulta de seu metabolismo e é função não somente da densidade de organismos, mas também de sua condição metabólica que depende de variações nas propriedades físicas e químicas do solo, como temperatura, porosidade, teor de água, pH do meio.

O fluxo de CO₂ resultante da respiração do solo tem efeito pronunciado nas mudanças climáticas globais por sua contribuição na concentração de CO₂ na atmosfera. O CO₂, em conjunto com outros gases responsáveis pelo efeito estufa como o NO, N₂O e CH₄, tem influência sobre as propriedades químicas e físicas da atmosfera e tem o potencial de alterar o balanço energético do planeta ([SHINE et al., 1990](#)).

Em ecossistemas naturais, uma estreita e harmônica integração da cobertura vegetal é mantida com o sistema físico, químico e biológico do solo, por meio de processos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, fotossíntese, formação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, em sistemas agrícolas, essa harmonia é quebrada fisicamente com as operações de preparo do solo e alterada quimicamente pela incorporação de corretivos e fertilizantes, causando o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a modificação dos fluxos de trocas de gases pela aceleração ou retardamento dos processos de formação e/ou decomposição da matéria orgânica ([RESCK et al., 1996](#)).

Por ser o solo considerado o maior reservatório de carbono nos agroecossistemas, a liberação de CO₂ para a atmosfera é uma importante parte do ciclo do carbono, constituindo-se num índice bastante útil para caracterizar a diminuição do estoque de carbono total dos sistemas de produção agrícola. Dependendo do grau de distúrbio imposto ao solo, pode-se aumentar a taxa de decomposição da matéria orgânica que se torna fonte de CO₂ para a atmosfera.

Com o aumento na concentração de CO₂ na atmosfera, tem-se buscado enfatizar o armazenamento de CO₂ no solo por meio de mudanças no uso da terra e práticas de manejo que intensifiquem a síntese e aumentem a retenção da matéria orgânica. Diversos estudos têm mostrado que o fluxo de CO₂ superficial do solo varia muito dependendo do sistema de manejo adotado ([RESCK, 1996](#); [WAGAI et al., 1998](#); [FOLLET](#); [SCHIMEL, 1989](#); [REICOSKY et al., 1997](#); [REICOSKY, 1997](#); [SCALA JÚNIOR et al., 2001](#)). O revolvimento do solo pode aumentar a respiração e a emissão de CO₂ como foi mostrado em vários estudos ([DUGAS et al., 1997](#); [REICOSKY, LINDSTROM, 1993](#); [REICOSKY et al., 1997](#)). Hendrix et al. (1988) observaram que a aração afeta mais o aumento do fluxo momentâneo do que a quantidade de fluxo total medida e que estimativas de fluxo anual sob plantio direto podem até ser maiores que no plantio convencional. Segundo [Aslam et al. \(2000\)](#), em Nova Zelândia, o fluxo de CO₂ aumenta por um curto período de tempo após o revolvimento e logo se equipara àquele observado em plantio direto. Na Austrália, [Carter e Hall \(1995\)](#) encontraram taxas de emissão de CO₂ de 55-132 kg C ha⁻¹ dia⁻¹ em pastagens permanentes, 43-91 kg C ha⁻¹ dia⁻¹ em plantio direto, e 36-81 kg C ha⁻¹ dia⁻¹ em solos arados. Solos sob preparo convencional, com menores teores de matéria orgânica, podem muitas vezes produzir maiores fluxos de CO₂ em relação ao plantio direto, por causa da biomassa mais ativa ([SAFFIGNA et al., 1989](#)); tanto a diferença em acessibilidade ao substrato de carbono como mudanças no metabolismo microbiano podem ser responsáveis por esses resultados, pois a quebra dos agregados disponibiliza carbono orgânico para a decomposição microbiana.

Em um Latossolo Vermelho, argiloso, no Cerrado, foi feito o monitoramento do fluxo de CO₂ em vários agroecossistemas ([RESCK et al., 1996](#)), quando foi observado que as maiores produções de CO₂ ocorreram em áreas de pastagens, seguidas pela área sob vegetação nativa de Cerrado; os sistemas de manejo com arado de discos e aivecas e plantio direto ficaram em um grupo intermediário, seguidos de uma área sob *Pinus*.

Estudos para se medir a respiração do solo têm sido conduzidos em vários biomas; no entanto, é difícil atingir um valor preciso devido a incertezas associadas dos vários métodos utilizados e a grande variabilidade espacial e temporal inerente à respiração do solo e a fatores ambientais ([NORMAN et al., 1997](#)). A respiração do solo tem sido medida por diferentes métodos, havendo prós e contras. Assim, não há como padronizar ou referenciar para se determinar a eficácia de cada método ([NAKAYAMA, 1990](#)). Diferenças metodológicas entre investigações, portanto, podem vir a se tornar fontes majoritárias de incertezas ao se estimar fluxos de carbono globalmente.

O método mais utilizado para se medir o fluxo de CO₂ do solo (respiração do solo) tem sido o da absorção alcalina (AA) em câmaras estáticas colocadas na superfície do solo, o qual é baseado na absorção de CO₂ por uma solução alcalina ([ANDERSON, 1982](#)). Esse método tem a vantagem de integrar o fluxo de CO₂ por um período de 24 horas ou mais e a habilidade de monitorar muitos pontos ao mesmo tempo. No entanto, há evidência muito grande de que esse método subestima a respiração do solo, especialmente, em altas taxas ([EWEL et al., 1987](#); [NAY et al., 1994](#); [HAYNES; GOWER, 1995](#); [JENSEN et al., 1996](#)). Sendo assim, as estimativas globais de respiração do solo que são, na sua maioria, baseadas nesse método, podem estar sendo subestimadas também ([YIM et al., 2001](#)). O método dinâmico de medição do CO₂ por analisador de gás infravermelho (IRGA), que calcula a respiração do solo usando as taxas de incremento da concentração de CO₂ na superfície do solo, fornece estimativas confiáveis e rápidas que são comparáveis a outros métodos tradicionais ([HAYNES; GOWER, 1995](#)), como o AA; e muitas vezes é tido como mais preciso ([ROCHETTE et al., 1992](#); [NORMAN et al., 1992](#)). Existem diferentes tipos de equipamento comercial disponíveis para a medição da respiração do solo pelo método dinâmico. Nesse método, a câmara tem pouca influência nas variáveis microclimáticas, pois as medidas de fluxo por períodos relativamente curtos (2 a 3 minutos), minimizam os efeitos da temperatura do ar e do solo, de seu teor de água e do gradiente de concentração de CO₂; porém, esse método não tem o poder de integrar o fluxo por um tempo maior como o método estático (AA), a menos que um grande número de medições seja feito em um período de 24 horas. Em estudo feito por [Jensen et al. \(1996\)](#), foi observado que ao comparar o método de absorção alcalina (AA) com o método dinâmico (IRGA), o segundo apresentou resultados em média 12% menores em taxas de respiração do solo do que no AA, abaixo de 100 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, enquanto estimativas cinco vezes maiores foram encontradas quando a taxa de respiração estava

acima de 100 mg CO₂ m⁻² h⁻¹. Em geral, estimativas de fluxo de CO₂ feitas por método dinâmico apresentam valores maiores do que o método da absorção alcalina ([ROCHETTE et al., 1992](#)).

Apesar da importância dos ecossistemas tropicais no ciclo do carbono e particularmente das Savanas, (nas quais se inclui o Cerrado que ocupa 24% do território nacional), há pouca literatura para que se possa sistematizar e compreender o papel desse ecossistema, na fase não perturbada (Cerrado nativo), e antropogenicamente perturbada (áreas cultivadas sob diferentes sistemas de manejo) em relação à emissão de CO₂ do solo para a atmosfera.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de manejo, na densidade do fluxo de CO₂ do solo, medido por dois métodos, em diferentes estações do ano no Cerrado.

Material e Métodos

Em uma rotação soja-milho, num Latossolo Vermelho argiloso, localizado na Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, foram selecionadas uma área com vegetação típica de Cerrado (CE) e seis parcelas de 1.250 m² de um experimento de longa duração instalado no ano agrícola de 1979 com os seguintes sistemas de preparo:

ADPP - preparo do solo com arado de discos pré-plantio (no qual o solo é revolvido a uma profundidade de aproximadamente 25 cm com arado de discos apenas uma vez ao ano, no início do período chuvoso, e na época do plantio, em outubro/novembro).

ADPC - preparo do solo com arado de discos pós-colheita (nesse sistema, o solo é revolvido com arado de discos, e os resíduos são incorporados a uma profundidade de aproximadamente 25 cm, duas vezes ao ano, logo depois da colheita da cultura, no mês de maio, final da estação chuvosa e antes do plantio, nos meses de outubro/novembro, início da estação chuvosa).

AVPP - preparo do solo com arado de aivecas pré-plantio (o solo é revolvido com arado de aivecas a profundidades maiores - até 40 cm - apenas uma vez ao ano, na época do plantio da cultura, em outubro/novembro).

AVPC - preparo do solo com arado de aivecas pós-colheita (nesse sistema, o solo é revolvido com arado de aivecas a uma profundidade de aproximadamente 40 cm, duas vezes ao ano, logo após a colheita da cultura, no mês de maio e antes do plantio, em outubro/novembro).

PDAD - plantio direto a partir do segundo ano, em área preparada com arado de discos, em 1979, primeiro ano de cultivo.

PDV - plantio direto a partir do segundo ano, em área preparada com arado de aivecas, em 1979, primeiro ano de cultivo.

As medidas foram realizadas durante o período de 398 dias, em 48 intervalos de aproximadamente uma semana, de 14 de abril de 2000 a 11 de maio de 2001 tendo sido utilizados dois métodos para a medição da densidade do fluxo de CO₂ do solo:

1. Um método estático ([COLEMAN, 1973](#)), no qual o fluxo de CO₂ é medido por absorção alcalina (AA) em câmaras fechadas (campânulas). Foram usados cilindros de PVC (polyvinyl chloride thermoplastic) com parede fina de 0,25 m de altura e 0,26 m de diâmetro interno inseridos no solo a uma profundidade de 50 mm. Um par de béqueres, um contendo 200 mL de solução 1M KOH - que reage com o CO₂ respirado pelo solo - e outro, H₂O, para conservar a umidade atmosférica da campânula, colocados dentro das câmaras que foram fechadas com tampa de PVC e lacradas com uma tira de borracha. Depois de 48 horas, os recipientes com KOH eram removidos e, semanalmente, eram substituídos por outros com uma nova solução de KOH. Para cada medição, uma solução alcalina testemunha foi utilizada como "branco", na qual foi absorvido apenas o CO₂ do ar contido no interior de uma campânula lacrada em laboratório. O CO₂ total absorvido foi medido por contratitulação com HCl 0,5M após a precipitação do carbonato com BaCl₂, usando-se fenolftaleína como indicador. Para o cálculo das emissões anuais de CO₂, foram somados os valores médios calculados das quatro medições realizadas em cada mês.
2. Um método dinâmico que consiste em um sistema portátil que analisa o fluxo de gás por ondas do infravermelho (IRGA) LI- 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) durante dois a três minutos ([NORMAN et al., 1997](#)).

O fluxo de CO₂ do solo foi calculado por uma regressão do segmento linear da relação entre tempo e concentração dentro da câmara. Para o cálculo das emissões anuais de CO₂ do solo, utilizaram-se os valores médios mensais em mol CO₂ m⁻² s⁻¹ que foram convertidos para Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

A variação da temperatura do ar e a precipitação ocorrida durante o período experimental são apresentadas na Figura 1.

A temperatura do solo foi medida a 5 cm de profundidade, por um termômetro digital acoplado ao analisador LI-6400, e os dados climáticos foram fornecidos pela Estação Agrometeorológica Principal da Embrapa Cerrados, 15°35'30''S e 47°42'30''W, distante a aproximadamente 100 metros da área experimental.

Os dados foram analisados pelo pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System Institute, Inc., 1989). Para a análise das médias do fluxo de CO₂, adotou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon ([CAMPOS, 1979](#)).

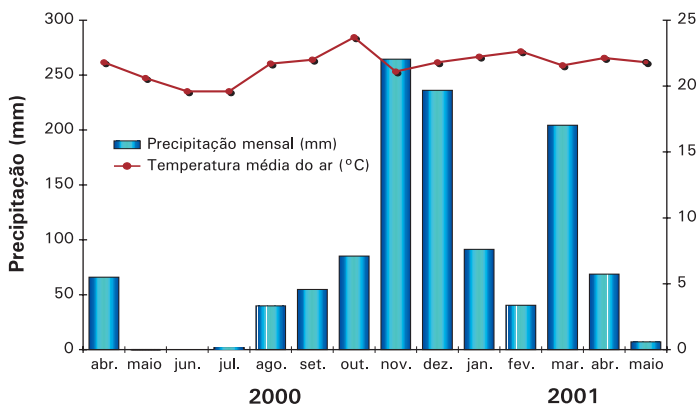


Figura 1. Temperatura média do ar e distribuição de chuvas na região durante o período de amostragem. Dados da Estação Agrometeorológica Principal da Embrapa Cerrados.

Resultados e Discussão

Fluxo médio de CO₂ medido por absorção alcalina (AA) e analisador de gás por infravermelho (IRGA) em diferentes sistemas de manejo

Nenhuma diferença significativa foi observada no método AA entre os fluxos médios encontrados no CE e nos tratamentos ADPC, PDAD e PDAV ([Tabela 1](#)).

Quando o método utilizado foi o IRGA, o valor médio de fluxo para o CE foi maior em todos os sistemas cultivados.

Tabela 1. Valores do fluxo médio de CO₂ medido por AA e IRGA, em diferentes sistemas de manejo, no período de 398 dias.

Tratamentos	Fluxo médio de CO ₂ (kg C-CO ₂ h ⁻¹ ha ⁻¹)	
	AA	IRGA
ADPP ²	0,769 bA ¹	0,910 cA
ADPC	0,812 abB	1,000 cA
PDAD	0,785 abB	1,037 cA
AVPP	0,732 bB	0,916 cA
AVPC	0,717 bB	1,013 cA
PDAV	0,807 abB	1,315 bA
CE	0,949 aB	1,648 aA

¹ Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma coluna e da mesma letra maiúscula na mesma linha não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste não paramétrico de Wilcoxon ($p < 0,05$).

² ADPP- preparo com arado de discos pré-plantio; ADPC- preparo com arado de discos pós-colheita; PDAD- plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos em 1979, primeiro ano de cultivo; AVPP- preparo com arado de aivecas pré-plantio; AVPC- preparo com arado de aivecas pós-colheita; PDAV- plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas em 1979, primeiro ano de cultivo; CE - Cerrado.

Os valores mínimo e máximo de fluxo medidos pelos diferentes métodos estão apresentados na Tabela 2 e variaram de 0,23 kg C-CO₂ h⁻¹ ha⁻¹, no AVPP a 3,31 kg C-CO₂ h⁻¹ ha⁻¹ no PDAD.

A respiração do solo está relacionada à qualidade da matéria orgânica e à disponibilidade de carbono para a biomassa e pode ser maior na superfície de solos sob plantio direto (Tabela 1) com alta atividade biológica ([FOLLET; SCHIMEL, 1989](#)); de fato, maior produção de CO₂ foi encontrada por [Hendrix et al. \(1988\)](#) em solos sob plantio direto (PD) em relação ao plantio convencional (PC). No entanto, solos sob plantio convencional, com menores teores de matéria orgânica, podem muitas vezes produzir maiores quantidades de CO₂ por causa de uma biomassa mais ativa, em relação ao plantio direto ([SAFFIGNA et al., 1989](#)) e tanto a diferença em acessibilidade ao substrato de carbono quanto as mudanças no metabolismo microbiano podem ser responsáveis por esses resultados. Com base nas observações de [Kern e](#)

[Johnson \(1993\)](#), após alguns anos de cultivo, a respiração do solo sob PD diminui; no entanto, [Fransluebbers et al. \(1995\)](#) encontraram fluxos iguais ou maiores no sistema PD em relação ao PC no período de repouso para várias culturas e para as culturas de sorgo e soja.

Tabela 2. Valores mínimo e máximo de fluxo de CO₂ medido pelos métodos IRGA e AA em diferentes sistemas de manejo no período de 398 dias.

Tratamentos	Fluxo de CO ₂ (kg C-CO ₂ h ⁻¹ ha ⁻¹)			
	Mínimo		Máximo	
	AA	IRGA	AA	IRGA
ADPP ¹	0,27	0,35	2,59	2,01
ADPC	0,28	0,35	2,71	2,85
PDAD	0,28	0,37	3,31	2,49
AVPP	0,24	0,23	2,18	2,75
AVPC	0,23	0,41	2,02	1,85
PDAV	0,34	0,63	2,78	2,44
CE	0,44	0,89	2,46	2,92

1. ADPP - preparo com arado de discos pré-plantio; ADPC - preparo com arado de discos pós-colheita; PDAD - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos em 1979, primeiro ano de cultivo; AVPP - preparo com arado de aivecas pré-plantio; AVPC - preparo com arado de aivecas pós-colheita; PDAV - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas em 1979, primeiro ano de cultivo; CE - Cerrado.

Em ambos os métodos, e para todos os tratamentos, o maior fluxo de CO₂ foi observado durante os meses de verão, quando o clima é mais chuvoso ([Figuras 2 a 8](#)).

No método AA, entre os meses de novembro e fevereiro ocorreu 62% de todo fluxo anual. No mês de dezembro/2000, foi obtido o maior fluxo (média = 1334 kg C-CO₂ ha⁻¹, c.v. = 18,3%; coeficiente de variação); em agosto, período mais seco do ano, a média do fluxo foi de apenas 19% em relação ao mês de dezembro (média = 255 kg C-CO₂ ha⁻¹, c.v. = 18,8%). O maior fluxo estimado pelo IRGA foi observado no mês de janeiro (média = 1386 kg C-CO₂ ha⁻¹, c.v. = 13,5%), e o período de novembro a fevereiro foi responsável por 47% do fluxo médio anual; em agosto, (média = 373 kg C-CO₂ ha⁻¹, c.v. = 55,4%) o solo respirou 27% do fluxo medido em janeiro. Segundo Carvalho (2005), os primeiros picos de emissão de CO₂ em

sistemas agrícolas com plantas de cobertura no Cerrado resultaram de eventos de chuva (21 mm) depois de quatro meses de seca; o aumento do teor de água no solo intensificou a atividade de microorganismos e do sistema radicular após o período sob estresse hídrico, embora os fluxos médios tenham retornado aos baixos valores no período seco seguinte.

Solos sob floresta tropical, em Rondônia, apresentaram maior respiração microbiana durante o período chuvoso do ano quando a média diária encontrada foi de 139 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹; no período seco, a média encontrada foi de 59 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹ ([FERNANDES et al., 2002](#)). Esses valores são comparáveis aos obtidos neste estudo.

Apenas no tratamento ADPC, observou-se pico de emissão do CO₂, logo após o revolvimento do solo em maio (Figura 3), possivelmente, por que a quebra dos agregados tenha disponibilizado substrato para a decomposição microbiana. [Reicoscki \(1997\)](#) observou que o plantio convencional aumenta o fluxo de CO₂ em curto prazo, logo depois do revolvimento, e sugere que esse fluxo seja devido muito mais a processos de fluxo de massa relativos a mudanças induzidas pelo revolvimento, o que refletiu em mudanças na porosidade do solo, do que pela atividade microbiana propriamente dita.

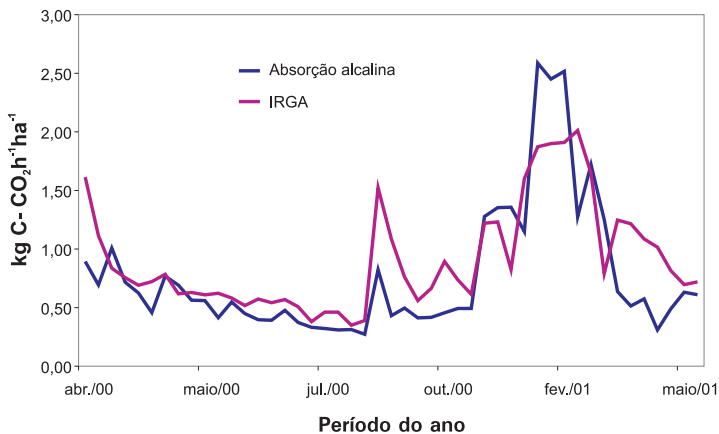


Figura 2. Fluxo de CO₂ do solo no tratamento arado de discos pré-plantio (ADPP) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

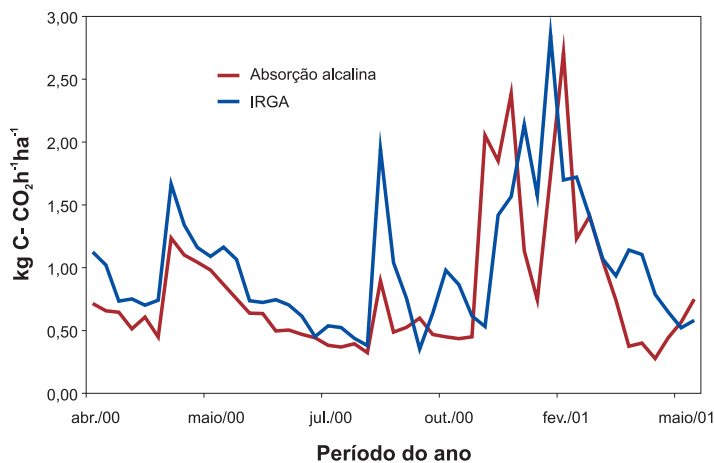


Figura 3. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento arado de discos pós-colheita (ADPC) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

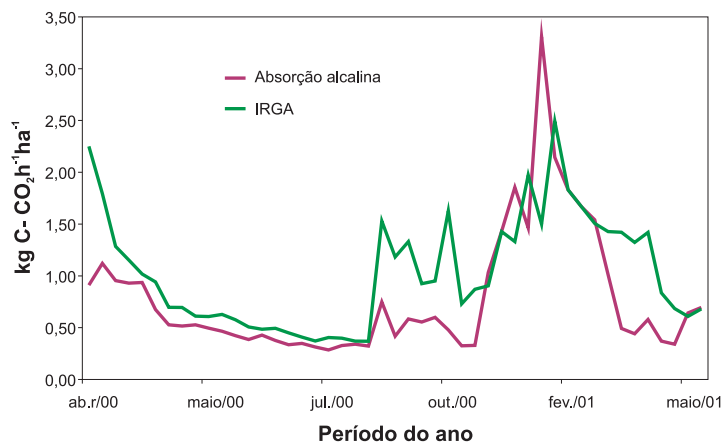


Figura 4. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento plantio direto depois de arado de discos (PDAD) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

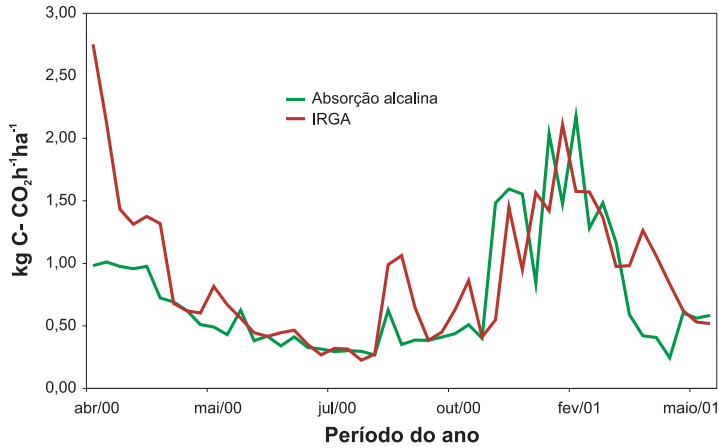


Figura 5. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento arado de aivecas pré-plantio (AVPP) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

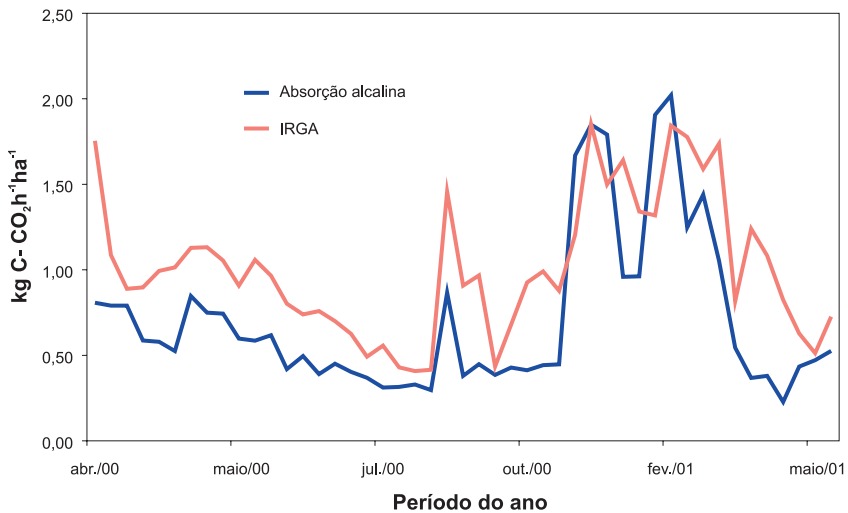


Figura 6. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento arado de aivecas pós-colheita (AVPC) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

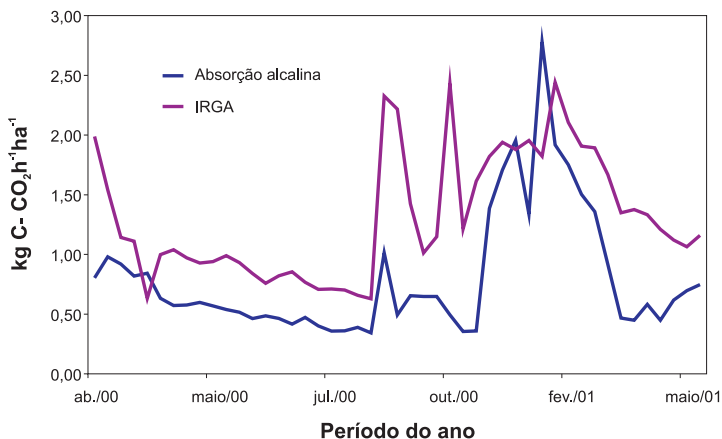


Figura 7. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento plantio direto após arado de aivecas (PDAV) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

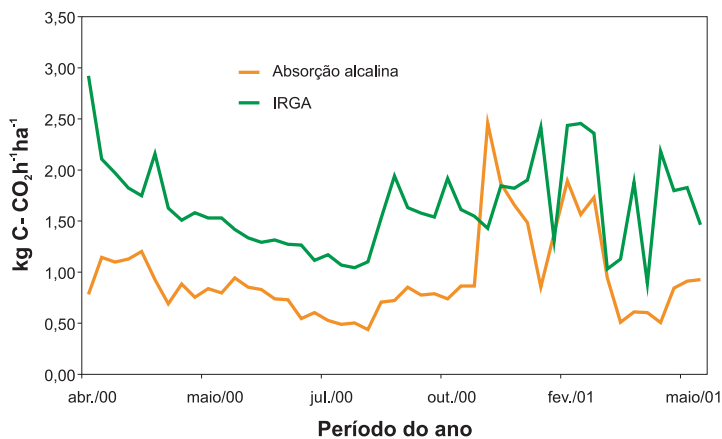


Figura 8. Fluxo de CO_2 do solo no tratamento Cerrado (CE) medido por AA e IRGA no período de abril/2000 a maio/2001.

Correlação entre os métodos de absorção alcalina (AA) e o analisador de gás por infravermelho (IRGA)

Em todos os tratamentos considerados separadamente, houve correlação positiva entre os métodos AA e IRGA ([Tabela 3](#)). Essa correlação, no entanto, foi mais alta no tratamento ADPP em que se obteve coeficiente de 0,79 ($p < 0,01$) e muito baixa no tratamento CE, no qual o coeficiente encontrado foi de 0,39 ($p < 0,01$). Quando desconsiderado o efeito dos tratamentos, verificou-se correlação de 0,61 ($p < 0,01$) entre os métodos.

Observa-se que os valores de correlação foram de médios a baixos. Existem inúmeros trabalhos que tentam explicar a baixa eficiência da solução alcalina em reagir com o CO₂ presente no ambiente. [Jensen et al. \(1996\)](#) justificam essa subestimativa, também, pela permanência da câmara no solo por um longo período, o que pode causar distúrbios no microclima, reduzindo a amplitude diária da temperatura. Segundo [Rochette et al. \(1992\)](#), a temperatura dentro das câmaras fica em média 4°C mais baixa do que a do exterior a 20 mm de profundidade, o que pode contribuir para a redução do fluxo medido. A absorção de CO₂ pela solução alcalina pode decrescer com o tempo devido à baixa difusão ([FREIJER; BOUTEN, 1991](#)). O aumento da concentração de CO₂ dentro da câmara diminui o gradiente de difusão do gás entre o solo e a câmara, reduzindo o fluxo absorvido pela solução alcalina. Experimentos em laboratório mostram que a absorção estática não é suficiente para reagir com todo o CO₂ respirado pelo solo devido à falta de contato entre a solução alcalina e todo o volume de CO₂ disperso dentro da câmara ([ROCHETTE; ELLERT, 1991](#)). Kabwe et al. (2002) instalaram um sistema simulando o natural, no qual foi introduzida uma quantidade conhecida de CO₂, concluindo que a medida do fluxo, utilizando-se de câmaras estáticas, apresenta decréscimo no poder de absorção com o tempo. Com longos períodos de absorção (>48h), é difícil de se prever qualquer distúrbio nas condições naturais e de se evitar viés nos resultados na absorção de CO₂ pela substância alcalina ([ROCHETTE et al., 1992](#); [NORMAN et al., 1992](#)). Entretanto, [Hendry et al. \(2001\)](#), usando câmaras estáticas, observaram que fluxos de CO₂, obtidos em períodos maiores que 24 horas, são semelhantes aos de outros métodos.

O fato de a correlação entre os métodos ser muito baixa no CE (Tabela 3) também pode ser explicado considerando-se que o aumento do fluxo de CO₂, nesse ecossistema, tenha ocorrido durante o período diurno. No método IRGA, as medições foram feitas sempre na mesma hora, entre 9h e 11h30, quando a temperatura do solo encontrava-se em elevação, e verificou-se que, nesse ecossistema, a temperatura do solo tem correlação de 0,78 e 0,50 (Tabela 4) com o fluxo de CO₂ observado pelo método AA e IRGA respectivamente. O aumento da temperatura do solo durante o dia pode, provavelmente, ter aumentado a taxa respiratória. [Grahammer et al. \(1991\)](#) não observaram diferenças na respiração diurna do solo se comparada com a do período noturno, ocasião em que o solo encontrava-se úmido; no entanto, quando o solo estava seco, no período diurno, a respiração aumentou 40% em relação à noite. Isso indica que o fluxo medido pelo IRGA poderia ter sido menor se fossem incluídas medidas noturnas. Fernandes et al. (2002) mediram o fluxo de CO₂ por cromatografia gasosa em floresta tropical úmida (Rondônia), três vezes durante o dia: às 7h, às 12h e às 17h, no período seco e úmido do ano e não observaram padrão consistente no fluxo de CO₂ durante o dia. Jensen et al. (1996), em solos sob floresta, na Dinamarca, embora em condições edafoclimáticas diferenciadas das tropicais, notaram variações do fluxo inconsistentes durante as 24 horas do dia que não foram significativamente correlacionadas com a temperatura do solo.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os métodos de determinação de fluxo de CO₂ em todo o período de estudo.

Tratamentos	AA x IRGA
ADPP ¹	0,79 ***
ADPC	0,61 ***
PDAD	0,66 ***
AVPP	0,62 ***
AVPC	0,77 ***
PDAV	0,62 ***
CE	0,39 ***

1. ADPP - preparo com arado de discos pré-plantio; ADPC - preparo com arado de discos pós-colheita; PDAD - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos, em 1979, primeiro ano de cultivo; AVPP - preparo com arado de aivecas pré-plantio; AVPC - preparo com arado de aivecas pós-colheita; PDAV - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas, em 1979, primeiro ano de cultivo; CE - Cerrado.

*** - significativo a 1%.

Os valores do fluxo de CO₂ total anual estimados (48 medições semanais entre os meses de maio/2000 a abril/2001) variaram de 7.127 kg C-CO₂ ha⁻¹, no sistema AVPP pelo método AA, a 14.213 kg C-CO₂ ha⁻¹ encontrado no CE, pelo método IRGA (Figura 9).

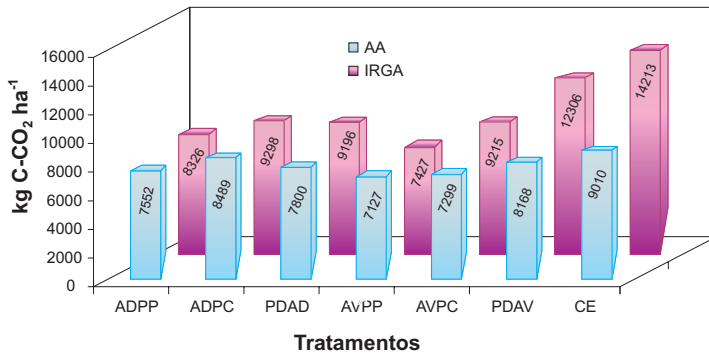


Figura 9. Fluxo de CO₂ total anual do solo estimado pelos métodos AA e IRGA em diferentes tratamentos.

A magnitude dos valores estimados para o fluxo anual nesse experimento é compatível com outras estimativas feitas em diversas regiões do planeta ([YIM et al., 2001](#)). Em regiões de clima tropical, alguns autores conseguiram resultados bastante semelhantes aos deste trabalho. [Keller et al. \(1986\)](#) estudaram fluxos de CO₂ de solos sob florestas tropicais úmidas (Brasil, Equador e Porto Rico) e obtiveram valor médio representativo de 118,7 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹. Na Venezuela, medindo fluxos sob savanas e após a conversão para a agricultura ao final da estação seca e início da chuvosa, chegaram a fluxos médios variando de 120 a 150 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹.

[Pinto et al. \(2002\)](#) conseguiram, em solos sob Cerrado, resultados muito semelhantes. De acordo com Raich e Nadelhoffer (1989), as emissões de C do solo em florestas tropicais variam entre 2,2 e 15,1 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Verificou-se que, em média, o método IRGA apresenta valores 26% maiores que o AA e que o coeficiente de variação entre os tratamentos foi menor para o método AA em todos os meses estudados. Para o CE, a razão dos valores encontrados pelo IRGA em relação ao método AA atingiu 1,58, enquanto para os outros tratamentos os valores foram 1,10; 1,10; 1,18; 1,04; 1,26 e 1,51; para o ADPP, ADPC, PDAD, AVPP, AVPC e PDAV respectivamente.

O método de absorção alcalina pode ter subestimado o fluxo de CO₂ pela diminuição da capacidade de absorção quando a concentração de CO₂ elevou-se muito no ambiente interior da câmara; provavelmente, isso tenha ocorrido por que a solução alcalina foi colocada em recipiente que representava apenas 15% de toda área coberta pela câmara tendo diminuído a velocidade de absorção à medida que a solução se aproximava do ponto de saturação. O baixo coeficiente de correlação entre AA e IRGA para o CE (Tabela 3), pode ser uma indicação de que, quando o fluxo de CO₂ é muito alto, a taxa de absorção da solução alcalina não aumenta na mesma velocidade que os valores medidos instantaneamente pelo IRGA.

Efeito da temperatura do ar e do solo nos fluxos de CO₂

Em ambos os métodos, houve correlação positiva das temperaturas do solo e do ar com os fluxos de CO₂ medidos em todos os tratamentos. A menor correlação encontrada foi entre o tratamento ADPC e a temperatura do ar. No método AA, a maior correlação foi observada entre o tratamento ADPP e a temperatura do solo; no IRGA, entre o tratamento ADPC e a temperatura do solo Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre os diferentes tratamentos e as temperaturas médias diárias do ar (T_{ar}) e do solo (T_{solo}), a 5 cm de profundidade, no período de maio de 2000 a dezembro de 2000, em cada método de medição do fluxo de CO₂.

Métodos	Tratamentos	T_{ar} (°C)	T_{solo} (°C)
AA	ADPP ¹	0,39 ***	0,97 ***
	ADPC	0,23 *	0,48 **
	PDAD	0,39 ***	0,80 ***
	AVPP	0,43 ***	0,77 **
	AVPC	0,34 **	0,66 **
	PDAV	0,39 ***	0,65 *
	CE	0,37 ***	0,78 **
	ADPP	0,50 ***	0,49 **
IRGA	ADPC	0,31 **	0,90 ***
	PDAD	0,61 ***	0,82 ***
	AVPP	0,55 ***	0,71 **
	AVPC	0,45 ***	0,44 **
	PDAV	0,58 ***	0,72 **
	CE	0,56 ***	0,50 ***

1. ADPP - preparo com arado de discos pré-plantio; ADPC - preparo com arado de discos pós-colheita; PDAD - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos, em 1979, primeiro ano de cultivo; AVPP - preparo com arado de aivecas pré-plantio; AVPC - preparo com arado de aivecas pós-colheita; PDAV - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas, em 1979, primeiro ano de cultivo; CE - Cerrado.

***, **, * - significativo a 1%, 5% e 10% respectivamente.

[Fransluebbers et al. \(1995\)](#) obtiveram altas correlações entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo. [Resck et al. \(1996\)](#), monitorando o fluxo de CO₂ no Cerrado, em solos de vários agroecossistemas, incluindo culturas anuais, reflorestamentos e vegetação nativa, encontraram, em todos os tratamentos, baixas correlações (entre 0,30 e 0,52) entre a produção total de CO₂ e as temperaturas mínima e máxima do solo.

No método IRGA, a temperatura foi medida sempre em momentos coincidentes com as medições do fluxo de CO₂, com um termômetro digital acoplado ao sistema IRGA; a solução alcalina usada nas câmpulas permaneceu no campo por um período de 48 horas e sofreu influências das temperaturas diurna e noturna, o que aparentemente não interferiu de modo significativo nas correlações encontradas.

Conclusões

- 1) O fluxo de CO₂, no Cerrado, foi sempre maior do que em todos os sistemas de manejo quando o método utilizado foi o IRGA.
- 2) Depois de 20 anos de implantação do experimento, todos os sistemas de manejo apresentaram fluxos semelhantes pelo método da AA.
- 3) As maiores emissões de CO₂ ocorreram na época chuvosa.
- 4) O padrão de distribuição de chuva no Cerrado tem maior influência nas emissões de CO₂ do solo do que os sistemas de manejo estudados.
- 5) O método da absorção alcalina forneceu estimativas para fluxo total anual, em geral, menores que o método IRGA.

Referências

- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Chemical and biological Properties. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 831-871.
- ASLAM, T.; CHOUDHARY, M. A.; SAGGAR, S. Influence of land-use management on CO₂ emissions from a silt loam soil in New Zealand. **Agricultura Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 77, p. 257-262, 2000.

BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentration by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 27, p. 230-235, 1998.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 1979. 343 p.

CARTER, M. R.; HALL, D. O. Management of carbon sequestration in terrestrial ecosystems. In: BERAN, M. **Prospects for carbon sequestration in the biosphere**. Berlin: NATO, ASI series, Springer, 1995.

CARVALHO, A. M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília.

COLEMAN, D. C. Soil carbon balance in a successional grassland. **Oikos**, v. 24, p.195-199, 1973.

DUGAS, W. A.; REIKOSKI, D. C.; KINIRY, J. R. Chamber and micrometeorological measurements of CO₂ and H₂O fluxes for three C₄ grasses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 83, n. 1/2, p. 113-133, 1997.

EWEL, K. C.; CROPPER, W. P.; GHOLZ, H. L. Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. I. Changes through time. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 17, p. 325-329, 1987.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Seasonal variation of chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in na ultisol of the Brazilian Amazon. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, p. 227-241, 2002.

FOLLET, R. F.; SCHIMEL, D. S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1091-1096, 1989.

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 and Tillage Research**, Amsterdam, v. 34, p. 41-60, 1995.

FREIJER, J. I.; BOUTEN, 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.

GRAHAMMER, K.; JAWSON, M. D.; SKOPP, J. Day and night soil respiration from a grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, England, v. 23, p. 77-81, 1991.

HAYNES, B. E.; GOWER, S. T.; Belowground carbon allocation in unfertilization and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin. **Tree Physiology**, Victoria, v. 15, p. 317-325, 1995.

HENDRIX, P. F.; HAN, C. R.; GROFFMAN, P. M. Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystemas under different winter cover crop rotations. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, p. 135-148, 1988.

HENDRY, M. J.; MENDOZA, C. A.; KIRKLAND, R.; LAWRENCE, J. R. An assessment of a mesocosm approach to the study of microbial respiration in a sandy unsaturated zone. **Ground Water**, Westerville, v. 39, p. 391-400, 2001.

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, England, v. 29, p. 1297-1306, 1996.

KABWE, L. K.; HENDRY, M. J.; WILSON, G. W.; LAWRENSE, J. R. Quantifying CO₂ fluxes from soil surfaces to the atmosphere. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 260, p. 1-14, 2002.

KELLER, M.; KAPLAN, W. A.; WOFSY, S. C. Emissions of N₂O, CH₄, and CO₂ from tropical forest soils. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, DC, v. 91, n. 11, p. 791-802, 1986.

KERN, J. S.; JOHNSON, M. G. Consequences of tillage impacts on national soil and atmospheric C levels. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 200-210, 1993.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. Towards improving the global database on soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; ATEWART, B. A. **Soils and global change**. Boca Raton: Lewis, 1995. p. 343-436.

NAKAYAMA, F. S. Soil respiration. **Remote Sensing Reviews**, Lausanne, v. 5, p. 311-321, 1990.

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

NORMAN, J. M.; GARCIA, R.; VERMA, S. B. Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of grassland. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, DC, v. 97, p. 18845-18853, 1992.

NORMAN, J. M.; KUCHARIK, C. J.; GOWER, S. T.; BALDOCCHI, D. D.; CRILL, P. M. RAYMENT, M.; SAVAGE, K.; STRIEGL, R.G. A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, DC, v. 102, p. 28771-28777, 1997.

PINTO, A. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KISSELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L. T.; VARELLA, R. F.; MOLINA, M. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires, **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, 107(D20), 8089, doi:10.1029/2001JD000342, 2002.

RAICH, J. W.; NADELHOFFER, K. J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. **Ecology**, v. 70, n. 5, p. 1346-1354, 1989.

RAICH, J. W.; TUFEKCIÖGÜL, A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 71-90, 2000.

REICOSKY, D.C. Tillage-induced CO₂ emission from soil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 49, p. 273-285, 1997.

REICOSKY, D. C. Tillage methods and carbon dioxide loss: fall versus spring tillage. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. **Management of carbon sequestration in soil**. New York: CRC Press, 1997. p.99-111.

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

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

RESCK, D.V.S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. **Soil quality and agricultural sustainability**. Michigan: Ann Arbor Press, 1998. p.288-300.

RESCK, D.V.S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: anais / Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the tropical savannas: proceedings**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.81-89.

RESCK, D. V. S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, CBCS. 1997. (CD-ROM).

RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RODRIGUES, D. C.; SANTOS, A. L.; SILVA, J. E. da. Influência do uso e manejo do solo na produção de CO₂ em diferentes agroecossistemas na região dos Cerrados. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SLACS-SBCS, 1996. (CD-ROM).

RESCK, D. V. S.; VASCONCELLOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R., KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC/Lewis Publishers, 2000. p.169-196.

ROCHETTE, P.; ELLERT, B. Description of a dynamic closed respiration chamber of measuring soil respiration and its comparison with other techniques. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 77, p. 195-203, 1991.

ROCHETTE, P.; GREGORICH, E.G.; DESJARDINS, R.L. Comparison of static and dynamic closed chambers for measurement of soil respiration under field conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 72, p. 605-609, 1992.

SAFFIGNA, P.G.; POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C; THOMAS, G.A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter in na Australian vertisol. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 21, p. 759-765, 1989.

SAS Institute. SAS/STAT: **User's guide**, version 6. 4.ed. Cary, 1989. v.1. 943 p.

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

SHINE, K. P.; DERWENT, R. G.; WUEBBLES, D. J.; MORERETTE, J. J. Radiative forcing of climate. In: HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS J. J. **Climate Cange**: The IPCC scientific assesment. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 41-68.

WAGAI, R.; BRYE, K. R.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; BUNDY, L. G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, p. 1501-1509, 1998.

WOOD, C. W.; EDWARDS, J. H. Agroecosystem management effects on soil carbon and nitrogen. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 39, p. 123-138, 1992.

YIM, M. H.; JOO, S. J.; NAKANE, K. Comparison of field methods for measuring soil respiration: a static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. **Forest Ecology and Management**, v. 5814 p. 1-9, 2001.