Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar

Adriana Marcela Silva-Olaya

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Adriana Marcela Silva-Olaya
Ingeniero Agroecologo

Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS CLEMENTE CERRI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Silva-Olaya, Adriana Marcela
Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar / Adriana Marcela Silva-Olaya. - - Piracicaba, 2010.
101 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar 2. Dióxido de carbono - Emissão 3. Efeito estufa 5. Preparo do solo Título

CDD 633.61
S586e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A os meus pais Rosendo e Ana,

A minha irmã Ana Milena,

A meu anjo da guarda no céu Ruben Olaya, e

Ao meu fiel companheiro de batalhas Andrés

DEDICO

A Deus que fez possível a realização deste sonho

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu a fortaleza necessária para superar todos os obstáculos da vida.

A meus pais que a pesar da distancia estiveram ao meu lado me apoiando sempre.

Às minhas irmãzinhas Ana e Yê que mesmo longe torceram para que todos os meus propósitos dessem certo.

A você Fausto Andrés simplesmente por ser quem você é... Obrigada pela paciência, pela companhia, pelos ensinamentos, pela palavra certa no momento certo.

A todos os Olaya e os meus amigos de coração que confiam e acreditam nas minhas capacidades

Estarei sempre grata!

Ao professor Dr. Carlos Clemente Cerri, pela valiosa orientação, dedicação, paciência e apoio durante este tempo de trabalho.

Aos professores Ado e Brigitte pelos ensinamentos e a sua constante disposição a fazer parte desta pesquisa.

Ao professor Newton La Scala Jr pela grande contribuição cientifica e apoio na realização desta dissertação.

A Lilia, Sandra, Dagmar e Ralph, técnicos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental e grandes amigos com os quais pais me presenteou.

A Carol pelos aportes a este trabalho e pela bonita amizade oferecida.

A João e Douglas meus estagiários favoritos.

A Daniel De Bertoli pela colaboração no estabelecimento do experimento.

À galera que compõe a melhor sala do LBA, Marília, Leidi, Angélica e Daniel, pela paciência e pelos muitos momentos alegres compartilhados.

À minha tradutora oficial Ledivan, pelos seus aportes e colaboração.

Aos demais colegas de trabalho: Maisa, Diana, Marquinho, Chico, Greg, Ciniro, André, João e Bruna pela amizade e o bom convívio durante este período de mestrado.

Ao Zezinho e o Claudião, mais dois presentes do Brasil.

A Joana e Greici, duas colombianas as quais conheci longe da minha pátria mas que terão sempre um lugar importante no meu coração.

Ao povo colombiano na ESALQ pelos gratos momentos compartilhados.

Ao pessoal da Usina Iracema por terem permitido a realização desta pesquisa nas suas instalações e pela cooperação durante a fase experimental.

Ao programa estudante convênio PEC-PG pela bolsa concedida e,

A todas as pessoas que em algum momento me ofereceram a sua amizade sincera e nos quais encontrei apoio, alegria e compreensão!

Meus sinceros votos de agradecimento!!

“Os vencedores da batalha da vida,
são homens perseverantes que sem se
julgarem gênios, se convenceram que só
pela perseverança e esforço,
poderiam chegar ao fim almejado”

Ralph Waldo Emerson

Tudo é do pai, toda honra e toda gloria,
é dele a vitoria alcançada em minha vida...

Anônimo

SUMARIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
LISTA DE FIGURAS 15
LISTA DE TABELAS 17
1 INTRODUÇÃO 19
2 DESENVOLVIMENTO 23
2.1 Revisão bibliográfica 23
2.1.1 O efeito estufa e a agricultura 23
2.1.2 A cultura da cana-de-açúcar 25
2.1.3 Fluxo de CO_2 do solo 29
2.1.4 Efeitos da temperatura e umidade do solo sobre a emissão de CO_2 30
2.1.5 O preparo do solo 31
2.1.4.1 Preparo Convencional 34
2.1.4.2 Preparo mínimo 35
2.1.4.3 Preparo Usina Iracema 36
2.2 Material e Métodos 37
2.2.1 Caracterização da área de estudo 37
2.2.2 Sistemas de preparo do solo avaliados 38
2.2.3 Avaliação da emissão de CO_2 41
2.2.4 Avaliação da temperatura e umidade 42
2.2.5 Estoque de Carbono do solo 43
2.2.6 Indicadores meteorológicos 44
2.2.7 Desenho experimental e análise estatística 45
2.3 Resultados e discussão 46
2.3.1 Caracterização físico-química do solo 46
2.3.2 Teor e estoque de carbono do solo 49
2.3.3 Temperatura e umidade do solo 52
2.3.3.1 Temperatura e umidade do solo sob sistemas de preparo com palha 52

2.3.3.2 Temperatura e umidade do solo sob sistemas de preparo sem palha..... 60
2.3.4 Evolução da emissão de CO_2..... 66
2.3.4.1 Emissão de CO2 derivada de sistemas de preparo com palha..... 66
2.3.4.2 Emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo sem palha 74
2.3.5 Emissão acumulada de CO_2 78
2.3.6 Comparação da emissão de CO_2 entre sistemas de preparo com palha e sem palha na superfície do solo 83
3 CONCLUSÕES 91
REFERÊNCIAS..... 93

RESUMO

Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar

As emissões anuais de dióxido de Carbono (CO_2), considerado o gás efeito estufa mais importante (GEE), aumentaram em torno de 80% entre 1970 e 2004. Esse aumento ocorre, principalmente, devido ao uso de combustíveis de origem fóssil e as atividades agrícolas tal como mudança no uso da terra. Dentre os sistemas agrícolas as práticas de manejo adotadas constituem importantes ferramentas na mitigação da emissão dos GEE para atmosfera. Os solos agrícolas podem funcionar como fonte ou reservatório de GEE. A emissão de CO_2 do solo é considerada a segunda maior componente do ciclo global do carbono sendo por tanto relevante nas variações climáticas. O cultivo do solo por métodos tradicionais que englobam aração e gradagem assim como outros métodos de preparo podem influenciar sobre as emissões de CO_2, acelerando a mineralizacão do carbono orgânico do solo. O presente trabalho teve como objetivo quantificar as emissões de CO_2 derivadas de diferentes sistemas de preparo do solo utilizados na cana-de-açúcar, assim como avaliar a contribuição da incorporação da palhada na emissão de CO_2. A pesquisa foi desenvolvida em área de plantio pertencente à Usina Iracema (Município de Iracemápolis-SP). O solo é um Latossolo vermelho escuro, a colheita da cana-de-açúcar é realizada sem queima da palhada. Os sistemas de preparo avaliados foram: Preparo convencional (PC); preparo mínimo (PM); preparo Usina Iracema (PU). Adicionalmente, avaliou-se uma parcela sem qualquer alteração a qual foi utilizada como tratamento controle (TC). Os resultados indicaram interação significativa ($p<0,001$) entre preparo, palha e tempo após o preparo, sugerindo que o tempo após preparo é importante quando é avaliado o efeito do preparo sobre a emissão de CO_2. Incrementos no fluxo de CO_2 foram observados nos dias em que ocorreram operações de preparo e em que se apresentaram eventos chuvosos na área. A emissão acumulada ao longo do período de avaliação nos sistemas de preparo com palha foram maiores no PC, na ordem de 881,6 g m^{-2} de CO_2, valor 34% superior ao encontrado no PU (583,2 g m^{-2}) e 39% acima do PM (537 g m^{-2}). Entretanto, quando a palha foi retirada observou-se que a emissão em PC foi superior ($p<0,05$) da encontrada no sistema PM e TC, mas não diferiu da observada no PU. Ao comparar a emissão acumulada encontrada no PC com o valor do TC encontrou-se que 238 g m^{-2} de CO_2 foram emitidas a atmosfera devido às operações de preparo executadas; quantidade equivalente a 649 kg ha^{-1} de C-CO_2 ou 0,68% do C do solo estocado em uma profundidade de 30 cm. O sistema PU emitiu 133,7 g m^{-2} de CO_2 (364,6 kg ha^{-1} de C-CO_2 ou 0,38% do estoque de C na camada 0-30 cm). A incorporação da palha no PC gerou incremento na emissão de CO_2 de 162 g m^2, valor equivalente a 441,8 kg ha^{-1} de C-CO_2 o 7,8% do total de C associado a resíduos da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Preparo; Emissão; Dióxido de carbono; Cana-de-açúcar

ABSTRACT

Dioxide carbon emission from different soil tillage system in the sugarcane plantation

The annual emissions of carbon dioxide (CO_2), considered the greenhouse gas (GHG) more important, increased around 80% between 1970 and 2004. This increment mainly due to the use of fossil fuels, and agriculture as emissions from land use change. Land use management is an important tool to GHG emissions decrease. Agricultural soils can be a source or reservoir of greenhouse gases balance. The CO_2 emission from the soil is considered the second largest component of the global carbon cycle by being relevant in climate variations. Traditional soil tillage and other land use management may influence on CO_2 emissions, since it accelerates the mineralization of soil organic carbon. This study aimed to quantify the CO_2 from different tillage systems used in cane sugar and, to evaluate the influence of the trash soil incorporation in the CO_2 emission processes. The study was conducted at Iracema sugarcane mill area (Municipality of Iracemápolis-SP). The soil was an Oxisol; and the harvesting was mechanized, sugarcane unburned field. The tillage systems evaluated were: conventional tillage (CT), minimum tillage (MT); Iracema tillage (IT.) Additionally, it was evaluated a area without disturbance in which was left as control (NT). The results indicate significant interaction ($p < 0.001$) between tillage, trash and time after tillage, it is suggesting that the time after preparation is important when we evaluate the effect of tillage on CO_2 emissions. Increases in the CO_2 flux were observed when it was done tillage operations and rainfall events. The accumulated CO_2 emission across the study period in the tillage system with trash on soil were higher in CT, in order of 881.6 g m^2 of CO_2, 34% higher than the value found in the IT (583.2 g m^{-2}) and 39% higher than found in PM (537 g m^{-2}). However, when the trash were removed it was observed that the issuance of CT was higher ($p < 0.05$) found in the MT system and NT, but differed from that observed in the IT. By comparing the accumulated emission found in the CT with the value of NT it was found that 238 g m^{-2} were issued to the atmosphere from the tillage operations performed; amount equivalent to 649 kg ha^{-1} C-CO_2 or 0,68% C stock in soil to a depth of 30 cm. The IT system caused CO_2 emission of 133.7 g m^{-2} (364.6 kg ha^{-1} C-CO_2 or 0.38% of C stock in the layer 0-30 cm). The incorporation of trash in the CT generated increase in CO_2 emissions of 162 g m^{-2}, equivalent to 441.8 kg ha^{-1} C-CO_2 or 7.8% of the total C associated with trash from sugar cane.

Keywords: Tillage; Emission; Carbon dioxide; Sugarcane

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo 38

Figura 2 – Distribuição das parcelas na área experimental 40

Figura 3 - Câmara de fluxo de CO_2 (LI-8100) 41

Figura 4 - Tubo de PVC inserido no solo 42

Figura 5 - Equipamentos usados para medição de temperatura e umidade do solo. A) Termômetro; B) Hydrosense - TDR/Time Domain Reflectometry 43

Figura 6 - Distribuição da precipitação pluviométrica e as temperaturas médias do ar durante o período de realização da avaliação da evolução de CO_2 45

Figura 7 – Teor do carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) nas três profundidades avaliadas…..... 50

Figura 8 - Estoque de C do solo na área experimental nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm..... 51

Figura 9 - Temperatura do solo nos sistemas de preparo com palha na superfície do solo….. 53

Figura 10 - Umidade gravimétrica do solo sob sistemas de preparo com palha na superfície do solo e precipitações no período de estudo..... 56

Figura 11 - Temperatura do solo nos sistemas de preparo sem palha na superfície do solo…. 60

Figura 12 - Umidade gravimétrica do solo sob sistemas de preparo sem palha na superfície do solo e precipitações no período de estudo..... 64

Figura 13 - Emissões de CO_2 nos sistemas de preparo usina Iracema (PU), preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) com palha, avaliadas com o LI–8100 e precipitações durante o período de estudo..... 68

Figura 14 - Emissões de CO_2 nos sistemas de preparo usina Iracema (PU), preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) sem palha, avaliadas com o LI–8100 e precipitações durante o período de estudo..... 75

Figura 15 - Emissão acumulada de CO2 derivada de sistemas de preparo com e sem palha na superfície do solo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle…..... 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de areia, silte e argila no solo da área experimental 46

Tabela 2 – Densidade do solo nas camadas superficiais 47

Tabela 3 – Atributos químicos do solo 48

Tabela 5 - Médias da umidade do solo nos sistemas de preparo com palha na superfície do solo 57

Tabela 6 - Determinação do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo com palha e os fatores abióticos (temperatura e umidade do solo) 58

Tabela 7 – Temperatura do solo nos sistemas de preparo sem palha na superfície do solo…. 61

Tabela 8 - Determinação do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo sem palha e os fatores abióticos (Temperatura e umidade do solo) 62

Tabela 9 – Modelos de regressão linear simples entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo sem palha e os fatores abióticos (Temperatura (T) e umidade do solo (U)) 63

Tabela 10 – Umidade do solo nos sistemas de preparo sem palha 65

Tabela 11 - Médias de emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo com palha na superfície do solo 71

Tabela 12 - Médias de emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo sem palha na superfície do solo 77

Tabela 13 - Emissão acumulada de CO_2 derivada de sistemas de preparo com e sem palha na superfície do solo 79

Tabela 15 - Médias de emissão de CO_2 derivada dos sistemas preparo usina Iracema (PU) com e sem palha na superfície do solo 85

Tabela 16 - Médias de emissão de CO_2 derivada dos sistemas preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) com e sem palha na superfície do solo 86

1 INTRODUÇÃO

A concentração de gases efeito estufa (GEE) na atmosfera tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, como resultados das atividades antrópicas. Tal incremento poderá resultar em uma intensificação do fenômeno de efeito estufa, e conseqüentemente no aumento da temperatura média no planeta em até 5,8°C nos próximos cem anos (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007).

Três dos principais gases de interesse são dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4). O dióxido de Carbono (CO_2) é o GEE antropogênico mais importante; suas emissões anuais aumentaram em torno de 80% entre 1970 e 2004, atingindo em 2005 concentração atmosférica de 379 ppm, a qual excedeu em grande medida o intervalo natural dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). Isto causado principalmente às atividades como a queima de combustível fóssil, a queima de florestas e a perda da quantidade de húmus do solo (HOUGHTON et al., 1992). Estima-se que a média anual da emissão de carbono para a atmosfera resultante da queima de combustíveis fósseis na década dos 90, foi de 6,3 ± 0,4 bilhões de toneladas (IPCC, 2001).

A substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis produzidos a partir de biomassa é uma alternativa que reduz as emissões de GEE. Estudos de análise do ciclo de vida têm encontrado que a substituição de gasolina por etanol produzido a partir de milho é eficiente na redução da emissão; no entanto poderia ser ainda maior quando a cana-de-açúcar é utilizada para a produção de etanol (SEARCHINGER et al., 2008).

O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo e conseqüentemente o principal exportador de etanol; porém estimativas indicam que a agricultura é responsável por 75% das emissões de CO_2, 91% das emissões de CH_4 e 94% das emissões de N_2O (CERRI; CERRI, 2007).

Diante desta situação é necessário o desenvolvimento de práticas agrícolas que conduzam a diminuição do impacto ambiental desta cultura, a fim de garantir a sustentabilidade do etanol produzido a partir dela.

Nestes processos de mitigação, o solo constitui um valioso compartimento, por ser um importante reservatório natural de carbono. Em média o solo possui 4,5 vezes mais carbono do que a biota e 3,3 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999); uma pequena variação no C acumulado neste poderia resultar em importantes mudanças na concentração atmosférica de CO_2 (LUO; WANT e SUN, 2010). A emissão de CO_2 do solo é considerada a segunda maior componente do ciclo global do carbono sendo por tanto relevante nas variações climáticas (RETH et al., 2005). Esta liberação de CO_2 à atmosfera é atribuída ao metabolismo das raízes das plantas, aos processos de decomposição microbiana, a microflora e a fauna (RASTOGI et al., 2002), e é influenciada pela temperatura e umidade, entre outros fatores.

O cultivo do solo por métodos de aração e outros métodos de preparo, incrementa a mineralizacão do carbono orgânico do solo (COS) e as emissões de CO_2 (REICOSKY et al., 1999). Os níveis de C orgânico do solo podem ser maiores sob solo não preparado do que sob solo preparado, mesmo quando a produção de biomassa é semelhante nos dois sistemas de manejo (BONO et al.; 2008). A decomposição da matéria orgânica do solo é aumentada pela perturbação física causada pelo preparo, o qual provoca a quebra os macroagregados e expõe o carbono protegido no interior deles aos processos microbianos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). A magnitude das perdas de carbono na forma de CO_2 devido às práticas de preparo do solo está muito relacionada com a intensidade do grau de perturbação atingida pelos implementos usados. Assim, dependendo do tipo e configurações do manejo, o solo pode ser uma importante fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera (LAL et al., 1995; BERNOUX et al., 2005).

Neste contexto, torna-se necessário um melhor entendimento do efeito dos diferentes sistemas de preparo do solo usados na reforma da cultura da cana-de-açúcar sobre a dinâmica do COS. É crucial a identificação e desenvolvimento de sistemas de manejo do solo sustentáveis que resultem em um seqüestro de carbono. Mudanças nas práticas usadas nessa cultura poderiam ter resultados notórios no balanço mundial de carbono, já que os valores observados de emissão após manejos diversos, especialmente o preparo do solo, são significativos e comparáveis aos valores expostos como o potencial de seqüestro anual de tais sistemas.

Diante desta situação o presente trabalho se propõe a quantificar as emissões de CO_2 derivadas de três sistemas de preparo do solo utilizados durante a reforma dos canaviais no estado de São Paulo, assim como avaliar a influência da palha nesses processos de emissão. A partir desta informação será possível a identificação do sistema de preparo que promove menores perdas do carbono do solo, contribuindo assim à adoção de práticas agrícolas no sistema de produção de cana-de-açúcar para fabricação de etanol mais eficientes sob o ponto de vista ambiental.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 O efeito estufa e a agricultura

O efeito estufa é um processo natural ocasionado por gases traços, que em conjunto com o vapor de água da atmosfera, absorvem e emitem radiação infravermelha regulando o sistema climático terrestre.

Os principais gases traços, também chamados de gases de efeito estufa (GEE) adicional, são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), sendo responsáveis por aproximadamente 50; 15,5 e 5% do forçamento radiativo causador do efeito estufa, respectivamente (IPCC, 2007).

Como conseqüência das atividades humanas (antrópicas) na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases vem aumentando na atmosfera, promovendo, assim, um efeito estufa adicional, o qual gera conseqüentemente um incremento na temperatura média do planeta, chamado de aquecimento global.

O dióxido de carbono (CO_2) é o GEE antropogênico mais importante. Suas emissões anuais aumentaram acima de 80% entre 1970 e 2004. Os aumentos da concentração mundial de CO_2 se devem principalmente à utilização de combustíveis de origem fóssil e em uma proporção apreciavelmente menor, às mudanças no uso da terra.

As concentrações de metano (CH_4) e oxido nitroso (N_2O) também têm aumentado, atingindo em 2005 valores de 1774 319 ppb, respectivamente. O acréscimo na concentração de CH_4 deve-se principalmente à agricultura e ao uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

Segundo o Inventario de Emissões e Remoções Antrópicas e Gases do Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, no Brasil diferentemente dos países industrializados, a maior parcela das emissões liquidas estimadas de CO_2 é proveniente da mudança no uso da terra, em particular da conversão de florestas para o uso agropecuário. A parcela de emissões de CO_2 pelo uso de combustíveis fosseis no Brasil

é relativamente pequena, em função da elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidroelétricas, pelo uso de álcool no transporte e bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria.

Da mesma forma o setor agropecuário brasileiro é o maior responsável pela emissão de CH_4 (77% em 1994), a qual é proveniente da fermentação entérica (eructação) do rebanho de ruminantes, quase toda referente ao gado bovino, o segundo maior rebanho do mundo.

A comunidade científica está preocupada com os gases do efeito estufa devido ao seu potencial em afetar o clima da Terra. É importante que os três gases responsáveis pelo efeito estufa (CO_2, N_2O, CH_4) sejam estudados juntos para se chegar em uma estimativa sobre o potencial de aquecimento global (FOLLETT et al., 2005). Se não forem adotadas medidas para controlar as emissões dos GEE, provavelmente haverá graves problemas sociais e ecológicos por cada unidade de carbono emitido para a atmosfera (SATHRE; GUSTAVSSON, 2009).

O uso de combustíveis de origem biológica para substituir os combustíveis fosseis constitui uma alternativa na diminuição da emissão de GEE para atmosfera. O manejo das florestas e dos solos agrícolas desempenha também um papel importante na redução das emissões. Uma serie de ações poderiam conservar e seqüestrar grandes quantidades de C (aproximadamente 60-90 Gt de C só no setor florestal) nos próximos 50 anos. No setor florestal as medidas incluem coberturas florestais, diminuição do desmatamento, regeneração florestal natural, estabelecimento de plantações e promoção da agroflorestaria (IPCC, 1995).

No setor agrícola o ordenamento de terras agrícolas (175 Mt ano^{-1} de C), a redução de emissões de metano como resultado duma gestão mais adequada do gado (>30 Mt ano^{-1} de C) e da produção de arroz (70 Mt ano^{-1} de C), a plantação de cultivos energéticos em forma sustentável, o manejo adequado do solo e dos resíduos, seriam boas alternativas nestes processos de mitigação.

O uso de fontes de energia renovável e com baixo teor de C é uma das estratégias para a mitigação da emissão de GEE e o combate ao aquecimento global. O etanol da cana-de-açúcar é uma alternativa disponível comercialmente e com grande potencial de rápida expansão em muitos países (DE SOUZA; MACEDO, 2010).

A cultura da cana-de-açúcar adquire, portanto grande relevância no Brasil. No final do ano 2009, cerca de 18% da energia consumida no pais já provinha de derivados desta cultura, ultrapassando a energia hidráulica em importância na matriz e assumindo o segundo lugar (DE SOUZA; MACEDO, 2010).

2.1.2 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originaria da Nova-Guiné e foi levada para o sul da Ásia, onde foi usada inicialmente para a produção de xarope. Como a maioria das poaceaes (gramíneas), a cana-de-açúcar é uma planta C4, assim chamada por formar compostos orgânicos de quatro carbonos. Apresenta também a maior taxa fotossintética e de eficiência na utilização e resgate de CO_2 da atmosfera (VANZOLINI et al., 2006).

Os países de cultivo de cana-de-açúcar no mundo encontram-se entre a latitude 36,7° norte e 31,0° sul da linha do Equador estendendo-se de zonas tropicais a subtropicais.

No mundo a cultura da cana-de-açúcar ocupa uma área de 20.42 milhões de ha com uma produção total de 1333 milhões de toneladas métricas (FAO, 2003). A área de cana-de-açúcar e produtividade difere vastamente de país para país. O Brasil tem a maior área (5.343 milhões ha), enquanto a Austrália tem a maior produtividade (85.1 Mg ha^{-1}) (http://www.sugarcanecrops.com/p/introduction/).

A cana-de-açúcar é certamente uma das mais importantes culturas para o homem. Foi a primeira cultura introduzida no Brasil e é cultivada há quatro séculos no litoral do Nordeste. Mais recentemente, através do álcool etílico, essa cultura disseminou-se por quase todos estados brasileiros, estabelecendo-se nos mais diferentes tipos de solos. Hoje a produção media nacional de cana-de-açúcar é de 290 milhões de toneladas por ano (EMBRAPA, 2009).

No Brasil, a cana-de-açúcar é uma cultura com uma colheita anual, sendo que em media apresenta quatro cortes antes de uma nova plantação. As folhas das plantas são geralmente queimadas antes da colheita; o bagaço é também queimado para a produção de energia e a sacarose é usada para a produção de açúcar e etanol (MACEDO, 1992).

Esta planta é adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, já que a cultura necessita de grandes quantidades de água para suprir as suas necessidades hídricas, uma vez que somente 30% de seu peso é representado pela matéria seca, e 70% pela água, na dependência do estádio fonológico (VANZOLINI et al., 2006).

A importância da cana-de-açúcar pode ser atribuída à sua múltipla utilização, podendo ser empregada sob a forma de forragem, para alimentação animal, ou como matéria prima para a fabricação de açúcar, álcool, rapadura, melado e aguardente.

Atualmente, a principal destinação da cana-de-açúcar cultivada no Brasil é a fabricação de açúcar e álcool (etanol); o setor sucroalcooleiro é parte importante do agronegócio brasileiro, além de ser referência para os demais países produtores de açúcar e álcool (BRASIL, 2007).

A cana-de-açúcar ocupa cerca de 7 milhões de hectares ou cerca de 2% de toda a terra arável do país. As principais regiões de cultivo de cana-de-açúcar são o Sudeste, o Centro-Oeste, o Sul e o Nordeste, permitindo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo (ÚNICA, 2009).

Na região Centro-sul a área de cana-de-açúcar disponível para colheita na safra atual (2008/09) foi estimada em 6,53 milhões hectares, representando um aumento de 15,7% (917,9 mil hectares) em relação à safra anterior. O estado de São Paulo é o maior produtor de cana de cana-de-açúcar com uma área de 4,45 milhões de hectares disponíveis para a colheita, representando 66% de toda área de cana da região Centro-sul. O estado de São Paulo apresentou um crescimento 12,2% (483,3 mil hectares) em área com cana-de-açúcar em relação à safra anterior.

O segundo maior produtor é o estado do Paraná com 605 mil hectares, seguido por Minas Gerais com 575 mil hectares de cana-de-açúcar. Em relação à safra passada, Paraná e Minas Gerais tiveram aumentos de 17,7% (90,9 mil hectares) e 24,2% (112 mil hectares). O estado de Goiás é o quarto maior produtor de cana-de-açúcar na região Centro-sul com uma área de 432 mil ha, mas foi o que apresentou a maior taxa de expansão (39,9%) em relação à safra 2007/08, com um aumento na área de 123,2 mil ha (UNIÃO DE INDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - ÚNICA, 2009).

A prática de queima nos canaviais é geralmente adotada nas diversas regiões canavieiras do Brasil e do mundo com o objetivo de facilitar as operações de corte e carregamento (SPAROVECK et al., 1997). Esta prática pode danificar o tecido celular do colmo da planta, e assim aumentar o risco de doenças na cana-de-açúcar; além de destruir a matéria orgânica, causar danos na estrutura do solo devido ao aumento do secado, e aumentar os riscos de erosão. Este método de colheita também se traduz em riscos para os sistemas elétricos, vias férreas, e reservas florestais; o anterior somado ao impacto ambiental devido as emissões nocivas de compostos como CO, CH_4, e partículas (GOLDEMBERG et al., 2008).

Esta prática é adotada por cerca de 70% da área estabelecida no estado de São Paulo, e causa grandes emissões de GEE e partículas para a atmosfera (GODOI et al., 2004). As emissões de CO_2 e O_3 pela queima das folhas na cana-de-açúcar no estado de São Paulo foram duas vezes maiores que as produzidas pela queima nos bosques na Amazônia. (KIRCHHOFF et al., 1991).

Quase a totalidade (98%) das emissões de gases resultantes da queima dos resíduos agrícolas no Brasil provém da queima de cana-de-açúcar (EMBRAPA, 1999). Para amenizar esse problema, o governo do estado de São Paulo criou uma lei com a finalidade de eliminar gradativamente a pratica de colheita com a queimada do canavial. A Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, define procedimentos, proibições, estabelece regras de execução e medidas de precaução a serem obedecidas quando do emprego do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais.

O decreto estabelece, em seu artigo primeiro, que o emprego do fogo, como método de despalha e facilitador do corte da cana-de-açúcar, deve ser eliminado de forma gradativa, não podendo a redução, a cada período de cinco anos, ser inferior a 25% da área de cada unidade agroindustrial ou propriedade não vinculada à unidade agroindustrial.

No sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (*mulch*) denominada palha ou palhada. A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 Mg ha^{-1} (TRIVELIN et al., 1996).

Abramo Filho et al. (1993) avaliando a palhada depositada após o terceiro corte mecanizado do canavial encontraram 15 Mg ha^{-1} de massa seca de palhada, formando uma camada de 8 a 10 cm de espessura possibilitando uma alteração da temperatura de 5°C na superfície do solo abaixo da palhada em comparação com a temperatura ambiente.

Uma importante contribuição da implementação do sistema sem queima é que, pode funcionar como um mitigador de carbono (C), contribuindo para a redução do efeito estufa, uma vez que o C que seria liberado durante a queima permanece na palhada e pode ser incorporado à matéria orgânica do solo (CAMPOS, 2003).

Vários estudos têm demonstrado que o CO e o N no solo respondem linearmente ao incremento da taxa de adição dos resíduos. Barber (1979) mostraram que dobrando a quantidade de resíduos adicionados em um sistema de produção continuo de milho de 11 anos, o nível de MO do solo aumentou significativamente quando comparado a taxa normal de adição. Blair et al. (1998) em experimentos conduzidos na Austrália, encontraram incrementos significativos na fração de C lábil no solo em área de colheita sem queima, quando comparado com o solo com queima antes da colheita.

No Brasil ao comparar o efeito da queima e da acumulação no solo dos resíduos da cultura da cana-de-açúcar, Razafimbelo et al. (2006), observaram que o conteúdo de CO foi superior em média de 20% e 15% nas profundidades de 0-5 cm e 0-10 cm respectivamente, em um sistema em que a colheita da cana-de-açúcar é feita de forma mecanizada e os resíduos da cultura são deixados na superfície do solo. A cultura da cana-de-açúcar com colheita mecanizada devolve grandes quantidades de C ao solo, que se perderiam se fossem queimados para a colheita manual.

No entanto outro fator que pode influenciar a dinâmica do C em longo prazo é o grau de revolvimento do solo durante a reforma do canavial. A correlação positiva entre o grau de distúrbio do solo por praticas de cultivo e o aumento da mineralizacão de C do solo tem sido confirmada em vários estúdios, assim parte do carbono do solo acumulado pela implementação de colheita de cana crua poderia ser perdido em função das conseqüentes operações de preparo efetuadas durante a reforma da cultura.

O fluxo de CO_2 nos solos agrícolas é o resultado de complexas interações entre o clima, e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. As praticas agrícolas

como o preparo, podem afetar essas propriedades do solo e portanto influenciar na liberação de CO_2, e em decorrência alterar o conteúdo de C no solo (LI et al., 2010).

2.1.3 Fluxo de CO_2 do solo

O CO_2 do solo é liberado para a atmosfera através da respiração do solo, a qual inclui três processos biológicos, a respiração microbiana, das raízes e da fauna, e um processo não biológico como é a oxidação química, a qual é mais pronunciada a altas temperaturas.

A emissão de CO_2 do solo para a atmosfera é influenciada por fatores ambientais (climáticos e edáficos) ao longo do ano e entre anos, e pelas praticas agrícolas inerentes aos diferentes sistemas de manejo. As variações estacionais da temperatura do ar e do solo, e da umidade do solo, como resultado de precipitações pluviométricas, modificam os processos microbianos e a intensidade destes, alterando as emissões de CO_2, independentemente do sistema de manejo do solo adotado (COSTA; ZANNATA; BAYER, 2008)

As práticas de manejo nos solos agrícolas podem tanto reduzir como aumentar o estoque de C do solo. Várias pesquisas expressam que os métodos de preparo do solo como aração e gradagem promovem perdas de C por meio de diferentes mecanismos (BAYER et al., 2000; YOUNG; RITZ, 2000; CERRI et al., 2004; REICOSKY; ARCHER, 2007):

- Fracionamento dos agregados do solo que protegem à matéria orgânica da decomposição microbiana.

- Ao revolver o solo, aumenta a aeração que estimula a atividade microbiana; resultando na liberação de grandes quantidades de CO_2 e outros gases à atmosfera.

• Incorporação de resíduos culturais que ao aumentar a área de contato, facilita a atividade microbiana sobre os mesmos. A cobertura do solo é reduzida, deixando-o exposto à radiação solar, aumentando assim a temperatura e reduzindo a umidade do solo.

A quebra da estrutura do solo obtida pelas técnicas de preparo resulta em um incremento do fluxo de CO_2 devido à melhor acessibilidade do oxigênio necessário para a decomposição da matéria orgânica e a respiração, resultando este em uma liberação de dióxido de carbono para a atmosfera (REICOSKY; LINDSTROM, 1993).

Estudos conduzidos sob diversos sistemas de manejo e em condições de clima temperado principalmente, têm concluído que a movimentação do solo por ação mecânica é um dos principais fatores responsáveis por aumentar as perdas de CO_2 (REICOSKY et al., 1997; KESSAVALOU et al., 1998; REICOSKY; ARCHER, 2007). No Brasil, La Scala et al. (2001) avaliaram emissões de CO_2 em solo submetido a diferentes sistemas de manejo convencional e verificaram que a intensidade de preparo foi um fator determinante das perdas de CO_2 do solo. A magnitude da perda de CO_2 dos solos esta diretamente relacionada com a freqüência e a intensidade do grau de perturbação do solo causada pelos implementos de preparo. Embora os efeitos do preparo no solo sobre as emissões de CO_2 sejam variáveis e complexos (MOSIER et al., 1991; LAUREN; DUXBURY, 1993), os sistemas mais conservativos ou que menos mobilizam o solo são considerado como uma alternativa às práticas agrícolas para reduzir as emissões de CO_2 a atmosfera (KERN; JOHNSON, 1993; REICOSKY; LINDSTROM, 1993; LAL; KIMBLE, 1997).

2.1.4 Efeitos da temperatura e umidade do solo sobre a emissão de CO_2

Os GEE são todos produzidos (ou consumidos) como resultado dos processos microbianos no solo, mas a intensidade (ou a quantidade) do fluxo entre o solo e a atmosfera depende em grande medida de fatores físicos. A temperatura do solo e o

conteúdo de água afetam diretamente a produção e o consumo de GEE, através dos seus efeitos sobre a atividade microbiana e as raízes.

A temperatura do solo é um importante fator no controle da maioria dos processos no ciclo do C, isso exibe grande amplitude no seu efeito sobre as taxas de emissão de CO_2. Um incremento na temperatura do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, a oxidação, a atividade microbiana e das raízes, assim como altera os processos de mineralizacão do C. Essa aceleração incrementa pelo tanto a emissão de CO_2 do solo, a qual causa um decréscimo do C estocado no solo (JABRO et al., 2008).

Diversas pesquisas reportam relações significativas entre a temperatura do solo e do ar com as emissões de CO_2 (JABRO et al., 2008; USSIRI; LAL, 2009), as quais podem elevar exponencialmente as taxas de respiração do solo. Wiant (1967 apud RASTOGI et al., 2002) não observou evolução do CO_2 a 10º C, mas encontrou que o fluxo de CO_2 incrementa logaritmicamente na mudança de temperatura de 20 e 40 ºC, sendo que quando a temperatura do solo atinge valores superiores a 50 ºC o fluxo declina rapidamente; assim a temperaturas mais altas ocorre a inibição da respiração microbiana.

Da mesma forma, tem sido observado que o conteúdo de umidade do solo afeta os processos de respiração nele; alto conteúdo de umidade proporciona ótimas condições para atividade microbiana, incrementa o consumo do oxigênio microbiano e a produção e emissão de CO_2 do solo (BUYANOWSKI; WAGNER, 1983).

A umidade do solo pode tanto favorecer como inibir a produção de CO_2, havendo teoricamente uma umidade ótima que maximiza a respiração. Davidson et al. (2000) reportaram que em solos de pastagem e floresta a taxa de respiração do solo aumenta com o incremento do conteúdo de água.

2.1.5 O 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. Este inclui todas as operações que visam melhorar as condições edafológicas e ambientais para a germinação,

estabelecimento da cultura e posterior crescimento, como métodos mecânicos convencionais baseados em técnicas de aração, controle químico de plantas daninhas e reguladores de crescimento, entre outros (FAO, 2010).

Nas últimas três décadas, houve aumento da intensidade de uso do solo e da mecanização, principalmente com as operações de aração e gradagem, com a conseqüente degradação da estrutura original do solo. A ação dos elementos ativos dos equipamentos de preparo de solo causa modificações; pulverizando os horizontes superficiais, e promovendo a compactação mecânica dos horizontes subsuperficiais (pé de grade/pé de arado). A modernização da agricultura e a utilização mais intensa de máquinas agrícolas provocaram mudanças nos atributos físicos do solo, principalmente na sua estrutura (ASSIS; LANÇAS, 2010).

O preparo incorpora ar no solo, quebra as células vegetais e microbianas, mistura as camadas superiores ricas em biomassa com as camadas mais profundas, afeta o regime de temperatura do solo, e acelera a secagem dele. Solos aráveis com regime de preparo freqüente sofrem geralmente perdas de matéria orgânica, aumento da nitrificação e deterioração na estrutura, reduzindo assim a sustentabilidade agrícola (CALDERÓN et al., 2000). Os efeitos ao longo prazo tem sido bem caracterizados, porém em curto prazo há pouca informação sobre os estoques de C e N, a atividade microbiana, e no nitrato que é propenso a perda atraves de desnitrificação e lixiviação (ZHANG; CHANGCHUN; SHENMIN, 2008).

O preparo do solo, em combinação com outras práticas de manejo e com a ação da temperatura e umidade do solo, influencia na taxa de emissão de C-CO_2 para a atmosfera (FRANZLUEBBERS et al., 1995; KESSAVALOU et al., 1998), atuando sobre fatores que estão direta ou indiretamente relacionados à atividade microbiana, da qual depende a produção de C-CO_2.

A matéria orgânica do solo esta protegida fisicamente à decomposição quando localizada dentro dos agregados ou em poros o suficientemente pequenos como para limitar a acessibilidade ao ataque microbiano. As forças de pressão e cisalhamento, inversão e mistura do solo, associadas com o preparo promovem o quebramento dos

agregados, decresce a densidade do solo e altera a distribuição do espaço poroso. (SCHJONNING; RASMUSSEN, 2000). A freqüência, profundidade e intensidade do preparo altera a estrutura do solo e a proteção física do C ao ataque microbiano.
Os poros estruturais (espaçamento entre os agregados do solo) são muito susceptíveis à perturbação causada pelo preparo. O C localizado nestes poros também está protegido da decomposição, mas esse C fica vulnerável a perda após preparo (REICOSKY et al., 2005). Mudanças na estrutura do espaço poroso e liberação de CO_2 são observadas imediatamente após o preparo, sendo mantidas por vários dias (OTTEN et al.; 2000; JACKSON et al.; 2003; LA SCALA et al., 2001, 2006).

Conant et al. (2007) utilizando o modelo Century para predizer mudanças no estoque de C do solo como resposta a introdução de praticas de manejo pouco freqüentes em três agroecossistemas, encontraram que o preparo convencional reduziu em média 27% o conteúdo de C do solo (em relação a área não preparada) nos três locais experimentais. A prolongação do tempo entre eventos de preparo tende a aumentar o estoque de C no solo, mas a magnitude desse incremento após a interrupção com preparo diminui quando aumenta a duração entre os eventos de preparo. A diferença no conteúdo de C do solo entre um área preparada a cada dois anos e uma preparada a cada quatro anos foi de 6,2 Mg C ha-1, enquanto a diferença entre área preparada a cada oito e dez anos foi apenas 1,4 Mg C ha-1. As perdas de C são maiores com o aumento da freqüência e da intensidade do preparo do solo.

Culturas como a cana-de-açúcar são renovadas a cada seis anos aproximadamente. O tempo entre uma renovação e outra esta determinado por fatores como variedade, manejo de solo e de água e clima, os quais regulam a produtividade da plantação. Entre 15 e 20% dos canaviais no Brasil são renovados anualmente; este processo de renovação envolve em alguns casos (dependendo do objetivo do produtor) rotação com outras culturas, fazendo uso de espécies de ciclo curto, que proporcionam ao produtor uma série de vantagens agronômicas, econômicas, políticas e sociais. No entanto grandes produtores optam pela destruição da soqueira e preparo do solo para novo plantio de cana-de-açúcar; para o qual diversos sistemas de preparo vêm sendo implementados. A seguir será apresentada uma breve revisão dos sistemas de preparo do solo na cana-de-açúcar que foram avaliados nesta pesquisa:

2.1.4.1 Preparo Convencional

Este sistema de preparo é baseado na manipulação mecânica do solo, e envolve operações de aração, seguida de uma ou duas gradagens. Os implementos usados nestes processos são muitas vezes movimentados por animais ou tratores e outros dispositivos mecânicos.

Este tipo de perturbação do solo aumenta o risco de erosão, uma vez que remove a cobertura vegetal e expõe o solo a ação da chuva, do vento e do escorreamento superficial (FAO, 2010).

Na cultura da cana-de-açúcar o sistema de preparo convencional envolve geralmente uma aração ou gradagem pesada, uma subsolagem ou mais uma gradagem, uma gradagem de estorroamento e uma gradagem de nivelamento. Porém a seleção destas atividades é sujeita as condições próprias da área a ser preparada. A primeira aração tem por objetivo a destruição dos restos da soqueira ou da cultura anterior e a incorporação e decomposição dos restos culturais existentes, assim esta aração é profunda e feita com bastante antecedência ao plantio.

A gradagem tem o objetivo de romper blocos de terra e nivelar o terreno. Devido ao maior rendimento operacional, a facilidade de transporte e a menor necessidade de regulagem, o arado vem sendo substituído por grades pesadas (DIAS; ROSSETTO, 2010).

A aração e a gradagem são as principais praticas agrícolas que estimulam a ação microbiana sobre a matéria orgânica do solo e resíduos vegetais. Isto ocorre devido ao aumento da aeração, maior contato solo-resíduo vegetal e ruptura dos agregados do solo, expondo material orgânico lábil. Desta forma, é esperado que a emissão de CO_2 seja menor em solos sob sistemas de manejo sem mobilização do solo, em relação a sistemas que adotam essas praticas (COSTA; ZANNATA; BAYER, 2008).

O efeito em curto prazo do preparo do solo na troca gasosa solo-atmosfera tem sido bem documentado. Reicosky e Lindstrom (1993) mostraram que a perda de CO do solo causada por aração pode ser superior quando comparada a perdas derivadas de solos não preparados ou minimamente perturbados. Al-Kaisi e Yin (2005) e Reicosky et al. (2005) encontraram emissão de CO_2 relativamente alta em solo sob preparo

convencional quando comparado a solos com subsolagem, preparo na linha e não perturbados.

Bayer (1996) verificou em um Argissolo Vermelho que o sistema plantio direto apresenta uma redução de cerca de 50% na taxa de decomposição da matéria orgânica do solo quando comparado com o sistema de preparo convencional, com reflexos positivos no aumento dos estoques de carbono orgânico do solo.

2.1.4.2 Preparo mínimo

Os sistemas de preparo de conservação do solo, tais como o preparo zero e preparo mínimo, entre outros, são cada vez mais usados na produção das diferentes culturas.

O preparo conservacionista foi desenvolvido principalmente para o controle da erosão. A recente preocupação com a mudança climática enfatiza a importância destes sistemas de preparo e como estes poderiam ser implementados em muitos solos para reduzir as perdas de C (REICOSKY; LINDSTROM, 1993).

O preparo mínimo faz referencia ao preparo que envolve manipulação do solo mínima necessária para a produção de uma cultura, ou que satisfaça as exigências de manejo sob o solo existente e as condições climáticas (FAO, 2010).

Na cultura da cana-de-açúcar este sistema de preparo abrange eliminação da soqueira com o uso de herbicida, seguida de sulcação do solo para o novo plantio, nas entrelinhas e linhas antigas. Devido a longa permanência da cultura no mesmo local sem que haja movimentação do solo (cana-planta e soqueiras), é praticamente imprescindível que se faça a subsolagem.

A subsolagem é uma prática de cultivo em profundidade que tornou-se comum em algumas regiões do país. Esta operação serve para tornar soltas as camadas compactadas, sem, entretanto, causar inversão das camadas de solo, devendo somente ser recomendada quando houver uma camada muito endurecida, em profundidades não atingidas por outros implementos (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

Algumas das vantagens do preparo mínimo em relação ao tradicional são a possibilidade de plantio em épocas chuvosas, o que pode significar a antecipação do plantio em até alguns meses; a utilização mais intensa da área de plantio, já que o intervalo entre a colheita e o replantio é menor; a redução da erosão; a redução do uso de máquinas, implementos e combustível (DIAS; ROSSETTO, 2010).

2.1.4.3 Preparo Usina Iracema

Sistema de preparo descrito assim pelo fato de ainda de não ter uma denominação técnica, mas que vem sendo implementado recentemente no estado de São Paulo. Esta prática de preparo envolve uso de um novo implemento que elimina mecanicamente a soqueira, seguido de posteriores operações de subsolagem.

O eliminador mecânico de soqueira foi desenvolvido pela Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR) com o objetivo de controlar o bicudo da cana de acucar, uma das mais importantes pragas nesta cultura. Os métodos de controle que incluem a aplicação de inseticidas ou a distribuição de iscas tóxicas apresentam as desvantagens de necessitarem o dispêndio elevado com mão-de-obra e a necessidade de reaplicações constantes (DE ALMEIDA; STINGEL; DE BENI, 2009), o que resulta em elevados custos.

O eliminador pica a soqueira e atira-a fortemente sobre uma grelha, separando-a da terra e evitando sua rebrota. A eliminação mecânica apresenta vantagens em relação à eliminação convencional com grades, em função da menor movimentação de solo, impedindo a formação da camada subsuperficial compactada (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

A eliminação mecânica é precedida por operações de subsolagem, as quais são realizadas em direção da linha e cruzada em um ângulo de 45º. A subsolagem, operação agrícola que tem como objetivo o rompimento de camadas compactadas do solo, é uma das operações que demandam maior gasto de energia e potência de tratores, pelo tanto é também uma das operações mais caras no processo de produção de cana. Quando realizada com critérios e em áreas que de fato necessitam, essa operação melhora diversos atributos físicos: aumenta a macroporosidade e a

porosidade total, diminui a resistência à penetração, aumenta a condutividade hidráulica e gasosa do solo (VASCONCELLOS, 2006).

Em relação à emissão CO_2, não foi encontrada informação que reporte o impacto da eliminação mecânica da soqueira. A emissão devida à realização da subsolagem entretanto, tem sido bem documentada, porém com resultados variáveis. Diversos estudos de curto prazo têm reportado menores emissões de CO_2 quando esta operação é executada (REICKOSKY; LINDSTROM, 1993; REICKOSKY, 1997; REICKOSKY et al., 1997; AL-KAISI; YIN, 2005; REICKOSKY et al., 2005; LOPEZ-GARRIDO et al., 2009). Em contraste, outras pesquisas sugerem emissões maiores ou iguais sob esta operação quando comparada com a aração principalmente (LA SCALA Jr et al., 2006; OMONODE et al., 2007; USSIRI; LAL, 2009).

2.2 Material e Métodos

As atividades começaram com a realização de um estudo prévio a partir do qual foram selecionados três sistemas de preparo para serem avaliados em termos de emissão de CO_2; este estudo levou em consideração as técnicas que vem sendo usadas para o preparo do solo durante a reforma do canavial no estado de São Paulo, além de praticas de preparo que poderiam ter menor impacto em razão do menor grau de perturbação física.

Posteriormente realizou-se a seleção e delimitação da área experimental na qual foram efetuadas as respectivas operações de coleta de solo e de CO_2 como descrito nos itens a seguir.

2.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em um solo classificado como Latossolo Vermelho escuro eutrofico (EMBRAPA, 2006) em uma área pertencente à usina Iracema, localizada no município de Iracemápolis, na região nordeste do estado de São Paulo (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen apresenta clima Aw: tropical com verão chuvoso e

inverno seco (precipitação do mês mais seco menor que 30 mm, temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C).

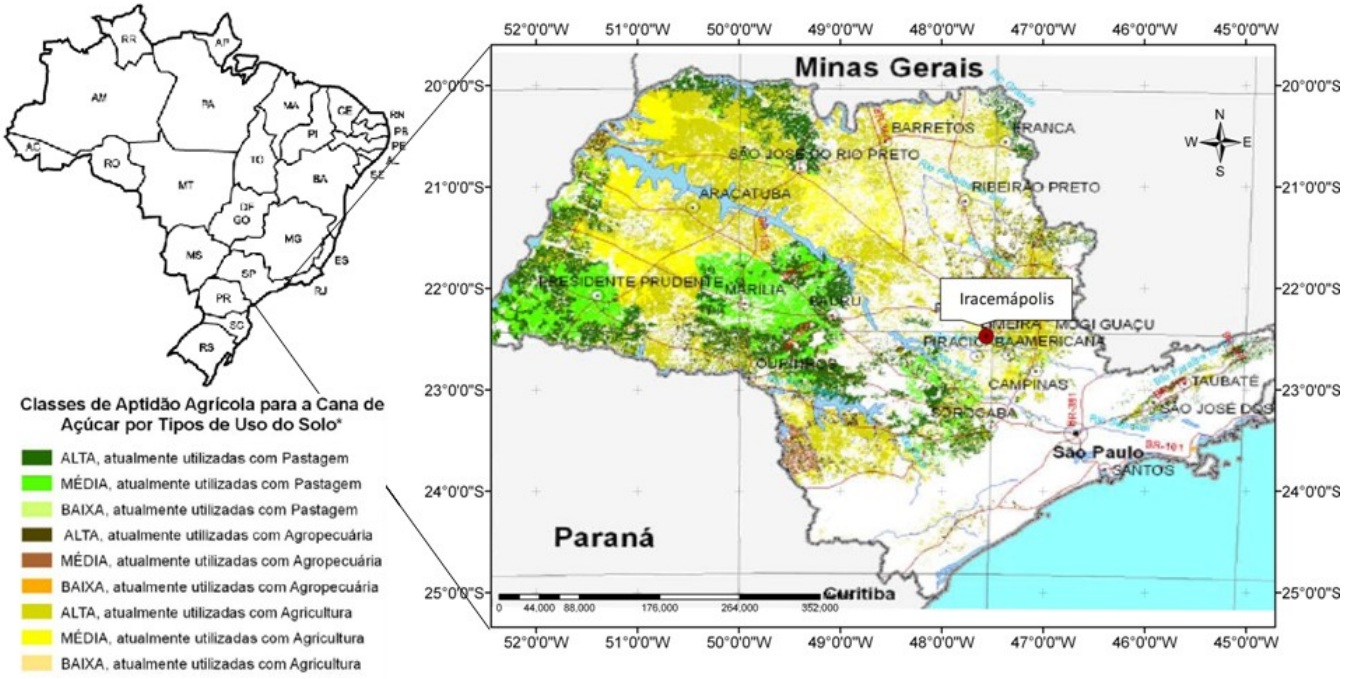

Figura 1 – Localização da área de estudo

Fonte: Manzato et al., 2009.

A área utilizada nesta pesquisa apresenta longo período de uso com cultivo de cana-de-açúcar. No momento da avaliação a área estava ocupada por plantio de cana da variedade SP91-1049 colhida mecanicamente (sem queima) durante os últimos seis anos, sendo que no período de tempo anterior a este, foi feita colheita manual com queima previa antes da colheita.

2.2.2 Sistemas de preparo do solo avaliados

Estabeleceram-se oito parcelas experimentais com dimensões de 12 x 35 m cada uma (sobre o mesmo tipo de solo e mesma altitude) e avaliados três sistemas de preparo de solo (Figura 2):

a) *Preparo Convencional (PC)*: Este sistema de preparo consistiu de duas gradagens aradoras e uma subsolagem na linha de plantio. A primeira gradagem foi feita utilizando trator Case MX 270, com implemento de 18 discos de 28”, operando a uma velocidade de 6,5 km h^{-1}. A segunda gradagem realizou-se sete dias após a primeira, usando o mesmo tipo de trator, o qual operou em uma velocidade de 5,2 km h^{-1}, sendo que o implemento usado foi de 24 discos de 29”. Finalmente, doze dias após à ultima gradagem foi feita a subsolagem; operação para qual se utilizou subsolador de cinco hastes, atingindo uma profundidade aproximada de 45 cm.

b) Preparo Mínimo (PM): Este tipo de preparo envolveu primeiramente eliminação química da soqueira, a qual foi feita através da aplicação de calda de herbicida glyphosate em trator Valmet 785, com pulverizador modelo albatroz capacidade de 1800 L, monido de controlador de vazão. Dezesseis dias depois da aplicação descrita anteriormente, foi feita uma nova aplicação de herbicida. Posteriormente (12 dias depois), uma vez verificada a eliminação da soqueira, realizou-se subsolagem na direção da linha com um subsolador de sete hastes com distanciamento de 50 cm entre hastes, ligado a trator Case MX270.

c) Preparo Usina Iracema (PU): Sistema de preparo implementado propriamente pela Usina Iracema, local onde foram desenvolvidos os experimentos. Este tipo de preparo consiste de eliminação mecânica da soqueira, seguida de subsolagem na linha e finalmente subsolagem cruzada.

A eliminação mecânica da soqueira realizou-se em duas fases: A primeira fase compreendeu a eliminação a cada duas linhas de plantio, e a segunda realizou-se sete dias após a primeira nas duas linhas restantes. O equipamento usado na execução deste procedimento foi um destruidor de soqueira, ligado a trator agrícola Case MX270, operando em uma velocidade de 3,0 km h^{-1}.

A próxima operação foi à subsolagem no sentido da linha de plantio; a qual se executou doze dias depois de completar as operações de eliminação da soqueira. Neste caso, foi utilizado um subsolador de cinco hastes, atingindo profundidade

aproximada de 20-30 cm; ligado a trator Case MX270, o qual operou em uma velocidade de 3,9 km h^{-1}.

Para finalizar o preparo foi feita uma subsolagem cruzada em um ângulo de 45°, nove dias após a operação imediatamente anterior. Neste caso foi utilizado um trator agrícola Case MX270, operando a velocidade de 4,4 km h^{-1}, ligado a subsolador de sete hastes que atinge uma profundidade aproximada de 45-50 cm.

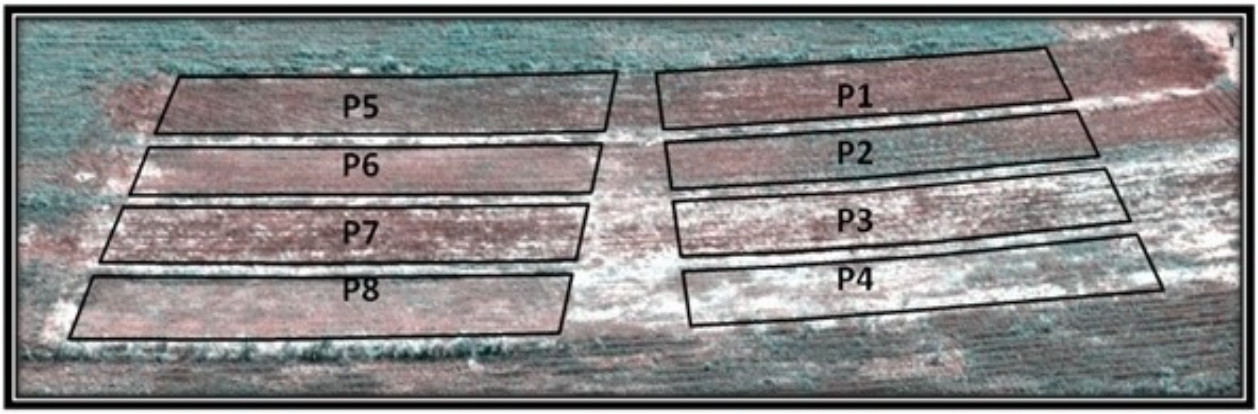

Figura 2 – Distribuição das parcelas na área experimental. As siglas P1, P2, P3 e P4 correspondem a sistemas de preparo PU, PC, PM e TC com palha, respectivamente; as siglas P5, P6, P7 e P8 correspondem a sistemas de preparo PU, PC, PM e TC sem palha

Com o objeto de avaliar a influência da palha nos processos de emissão de CO_2, cada um destes sistemas de preparo foi replicado em áreas com e sem palha. No caso das parcelas experimentais sem palha, a mesma foi retirada de forma manual, tentando causar o mínimo de alteração física na superfície do solo. Duas parcelas foram deixadas como tratamento controle (TC), onde o solo não foi preparado nem cultivado; porém uma das parcelas permaneceu com os resíduos culturais na sua superfície, enquanto que na outra foram retirados.

2.2.3 Avaliação da emissão de CO_2

A emissão de CO_2 foi monitorada utilizando-se uma câmara de fluxo modelo LI-8100 (Lincoln, NE, USA), que é dependente da concentração de CO_2 no interior da mesma (HEALY et al., 1996).

A câmara é um sistema fechado com volume interno de 854,2 cm^3 e área de contato com o solo de 83,7 cm^2 (Figura 3). A câmara é acoplada a um sistema de análise que quantifica a concentração e CO_2 em seu interior por meio de espectroscopia de absorção ótica na região espectral do infravermelho.

Figura 3 - Câmara de fluxo de CO_2 (LI-8100)

Em cada uma das parcelas experimentais foram inseridos no solo 8 tubos de PVC com diâmetro de 10 cm cada um (Figura 4). Após Vinte e quatro horas da instalação dos tubos, acoplou-se a câmara de solo LI-8100 em cada um deles. As avaliações do e-fluxo de CO_2 realizaram-se um dia antes do preparo do solo e imediatamente após a passagem dos implementos.

Figura 4 - Tubo de PVC inserido no solo

A utilização dos tubos de PVC é decorrente ao fato de que podem ocorrer distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, causando um aumento de CO_2 emitido pelo solo na área.

Nas parcelas correspondentes com Preparo convencional (PC) e Preparo Usina Iracema (PU) os anéis foram distribuídos em linha diagonal na área a uma distancia de 3,5 metros entre eles. Na parcela de Preparo mínimo os tubos foram instalados tanto na linha quanto na entrelinha, considerando um espaçamento entre eles de 3,5 metros. Em todas as parcelas foram descartadas duas linhas de cada lado e um espaço de 5 metros na parte superior e inferior para eliminar o efeito bordadura.

2.2.4 Avaliação da temperatura e umidade

A temperatura do solo foi avaliada utilizando-se um termômetro, o qual foi inserido no solo a uma profundidade de 12 cm e, o mais perpendicular possível em relação à

superfície (Figura 5). O termômetro foi instalado em região próxima ao local onde foram instalados os tubos de PVC para a avaliação da emissão de CO_2.

A umidade do solo foi avaliada utilizando um equipamento portátil TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália) que é constituído por uma sonda com 2 hastes de 0,12 m as quais foram inseridas no solo (Figura 5) o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, e em locais próximos aos colares de PVC.

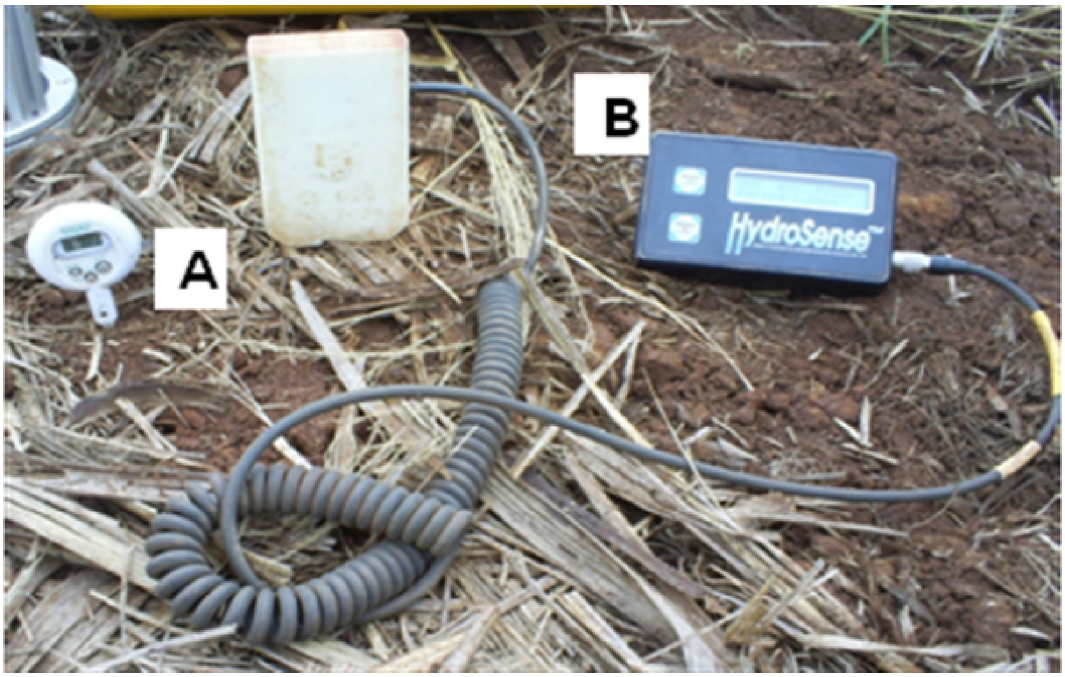

Figura 5 - Equipamentos usados para medição de temperatura e umidade do solo. A) Termômetro; B) Hydrosense - TDR/Time Domain Reflectometry

2.2.5 Estoque de Carbono do solo

Antes da execução dos diferentes sistemas de preparo a serem avaliados, foi definida uma grade regular na área de estudo e marcados 163 pontos para coleta de solo, com distanciamento entre eles de 5 metros, cobrindo assim uma área total de 3575 m^2. A coleta de amostras de solo foi realizada com o auxilio de trado a cada 10 cm até atingir uma profundidade de 30 cm.

As amostras foram secas ao ar, homogeneizadas, tamisadas em peneira de 2 mm, posteriormente moídas manualmente e tamisadas em peneira de 100 meshs, para depois serem analisadas por combustão seca no equipamento LECO CN-2000 no laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP).

Para a estimativa da densidade do solo foram abertas 8 minitrincheiras de 40 x 40 x 40 cm (uma em cada parcela experimental), e coletadas amostras de solo nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm. A determinação da densidade aparente foi feita segundo o método descrito por EMBRAPA (1979).

Com fins de caracterização química e granulométrica do solo foi aberta uma trincheira de 100 x 100 x 100 cm, na qual foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 50-60; 70-80 e 90-100 cm.

O estoque de C no solo foi calculado conforme Moraes et al. (1996):

$$Estoque\ C = d \times \mu \times e \qquad \text{Eq. (1)}$$

Onde, *Estoque C* = estoque de C no solo (Mg ha^{-1}); *d* = densidade do solo na camada estudada (g cm^{-3}); *μ* = teor de C no solo (%); *e* = espessura da camada estudada (cm)

2.2.6 Indicadores meteorológicos

Os dados da precipitação pluviométrica ocorrida durante o período de realização das avaliações foram fornecidos pela Usina Iracema. Os dados das temperaturas média do ar foram obtidos da base de dados da Estação meteorológica automatizada da ESALQ/USP localizada no município de Piracicaba, aproximadamente 24 km de distancia do local de estudo.

A Figura 6 mostra o registro da temperatura média do ar e das precipitações no período de avaliação.

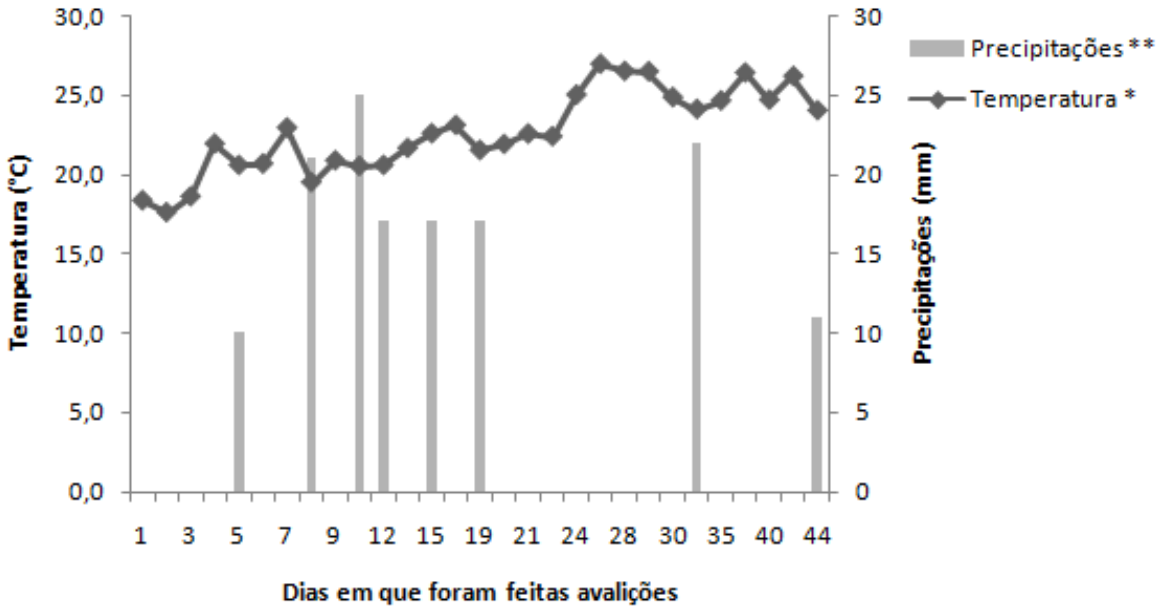

Figura 6 - Distribuição da precipitação pluviométrica e as temperaturas médias do ar durante o período de realização da avaliação da evolução de CO_2
*Fonte: Estação meteorológica automatizada da ESALQ- USP

**Fonte: Usina Iracema

2.2.7 Desenho experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido utilizando um esquema fatorial de 4x2 com quatro tratamentos (sistemas de preparo), sob dois fatores de avaliação (níveis de palha). A amostragem foi feita em oito pontos (repetições) dentro de cada tratamento ao longo de um período de 44 dias de avaliação.

Os resultados foram submetidos ao teste F de análise da variância e, posteriormente, as médias das variáveis avaliadas nos tratamentos comparados através do teste de Tukey ao nível de significância de $p<0,05$.

O coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas foi também determinado. Análises de regressão foram feitas nas situações em que encontrou-se correlação significativa. Estas análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do programa Statistical Analysis Systems (SAS INTITUTE, 1987).

A emissão acumulada ao longo do período de estudo foi calculada através do método de integração, usando o programa Origin 7.

2.3 Resultados e discussão

A seguir são apresentados e discutidos os resultados de cada uma das variáveis avaliadas nesta pesquisa.

2.3.1 Caracterização físico-química do solo

A granulometria do solo foi determinada considerando até 100 cm de profundidade (Tabela 1). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), o solo da área experimental enquadra-se na classe textural *Argilosa.*

Na tabela 1 observa-se um incremento gradativo do teor de argila do solo com a profundidade, característica típica de Latossolos.

Tabela 1 – Teores de areia, silte e argila no solo da área experimental

Profundidade	**Areia**	**Silte**	**Argila**
(cm)	**----------%----------**		
0-10	40,6	22,5	36,8
10-20	41,5	19,1	39,3
20-30	42,2	25,0	32,8
30-40	43,1	13,5	43,4
50-60	40,2	14,4	45,4
70-80	35,2	12,5	52,3
90-100	38,6	9,2	52,3

A densidade do solo foi menor na camada 0-10 cm quando comparada com as demais camadas avaliadas (Tabela 2); a manutenção de resíduos culturais na área contribuiu para uma maior macroporosidade nesta camada (DAO, 1996). A baixa densidade desses resíduos orgânicos, associada com sua susceptibilidade à

deformação e elasticidade, torna-os potencialmente capazes de atenuar as cargas aplicadas sobre o solo (BRAIDA et al., 2006).

Tabela 2 – Densidade do solo nas camadas superficiais

Profundidade (cm)	**Densidade (g cm^{-3})**
0-10	1,32 ±0,12 B
10-20	1,45 ± 0,04 A
20-30	1,44 ± 0,05 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A densidade encontrada nas camadas 10-20 e 20-30 cm pode se considerar como alta e até restritiva ao crescimento radicular de acordo com o proposto por Arshad et al. (1996). Vasconcelos et al. (2004 apud SOUZA; MARQUES; PEREIRA, 2010), estudando o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e as características físico-hídricas e químicas dos ambientes de produção, verificaram valores de densidade do solo de 1,45 Mg m^{-3} em um Latossolo com teor de argila em torno de 400 a 600g kg^{-1}. Os autores afirmam que esse valor de densidade do solo é muito elevado e restringe o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar na profundidade de 0,10 a 0,30 m.

As analise dos atributos químicos (Tabela 3) indica baixa acidez em todas as camadas avaliadas. Áreas com maior aporte de matéria orgânica (MO) apresentam menor acidificação devido ao efeito tampão que esta exerce no solo (MARIA et al., 1999).

Os valores da acidez potencial (H+Al) diminuem em profundidade em decorrência do aumento do pH nas camadas subsuperficiais. O alumínio apresenta a mesma tendência.

Tabela 3 – Atributos químicos do solo

Profundidade	pH H_2O	pH $CaCl_2$	H+ Al	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
(cm)			----------(mmolc kg^{-1})----------			
0-10	6,39	5,69	41,60	1,60	55,99	23,03
10-20	6,26	5,40	41,80	1,65	43,31	12,56
20-30	6,38	5,50	34,60	1,75	40,60	9,68
30-40	6,64	5,85	27,40	1,4	47,57	9,44
50-60	6,79	6,07	23,20	1,3	46,43	9,23
70-80	6,77	6,14	21,40	1,2	24,69	6,95
90-100	6,52	5,99	22,20	1,3	21,52	7,11

Profundidade	P disponível	K^+	Soma de Bases	CTC_T	V	m
(cm)	(mg kg^{-1})	----------(mmolc kg^{-1})----------			----------%----------	
0-10	74,68	140,66	219,68	261,28	84,10	0,72
10-20	54,41	118,93	174,79	216,59	80,82	0,94
20-30	33,46	113,81	164,09	198,69	82,61	1,06
30-40	24,14	92,07	149,08	176,48	84,47	0,93
50-60	14,14	86,96	142,62	165,82	86,01	0,90
70-80	1,70	81,84	113,48	134,88	84,13	1,05
90-100	1,16	86,96	115,59	137,79	83,89	1,11

Os teores de cálcio e magnésio trocável encontrados foram elevados, e as maiores concentrações destes elementos foram observadas na camada superficial do solo, com decréscimo em profundidade. Isto pode ser atribuído a ciclagem dos nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo (FRANZLUEBBER; HONS, 1996; FALLEIRO et al., 2003).

O potássio trocável, elemento essencial ao desenvolvimento celular das plantas, apresentou concentração relativamente alta, e o seu comportamento no solo segue a tendência descrita com o cálcio e o magnésio. Este elemento possui uma elevada ciclagem no sistema solo-planta, assim o K^+ proveniente das folhas da cana-de-açúcar é deslocado até o solo pelas águas chuvas, uma vez atingida a senescência (MEURER, 2006).

O fósforo é um elemento de baixa mobilidade no solo, formando freqüentemente complexos estáveis com outros elementos, permanecendo adsorvido. A disponibilidade deste elemento é altamente influenciada pelo pH e a quantidade de matéria orgânica do solo; assim a deposição de palha no solo durante seis anos consecutivos favoreceu concentrações de fósforo disponível altas, principalmente nas camadas superficiais. Canellas et al. (2003) encontraram teores de P superiores em áreas de cana sem queima em comparação a área queimada.

A soma de bases (SB) ao igual que a capacidade de troca de cátions potencial do solo (CTC_T), por se tratar de um valor calculado a partir dos cátions trocáveis, apresentaram valores altos, em decorrência dos resultados já descritos.

O grau de saturação por bases (V%) encontrado foi elevado, e não observou-se decréscimo deste parâmetro em função da profundidade do solo. Este comportamento permite que a raiz explore maior volume de solo, possibilitando maior aporte de água e favorecendo a absorção de nutrientes.

A saturação por alumínio (m%) entretanto foi inferior a 30%, assim a limitação deste solo quanto ao alumínio trocável é baixa.

2.3.2 Teor e estoque de carbono do solo

O teor de carbono do solo foi maior na camada superficial (0-10 cm), diminuindo em profundidade (Figura 7); tendência que reflete a dinâmica da matéria orgânica, onde o maior acúmulo nas camadas superficiais resulta da deposição dos resíduos culturais na superfície do solo, da contribuição por parte das raízes das plantas, as quais apresentam volume superior nesta área do perfil, da atividade microbiana entre outros fatores.

O sistema de colheita da cana adotado nesta área pode ter influenciado nos teores de carbono encontrados no solo e na tendência de decréscimo com a profundidade. Resultados reportados por Razafimbelo et al. (2006), indicam que quando a cana é colhida mecanicamente (SQ) e a palha é deixada na área, a concentração do COS é superior na camada superficial (0-5 cm) e decresce em profundidade; situação que não acontece quando o canavial é submetido a queima antes da colheita.

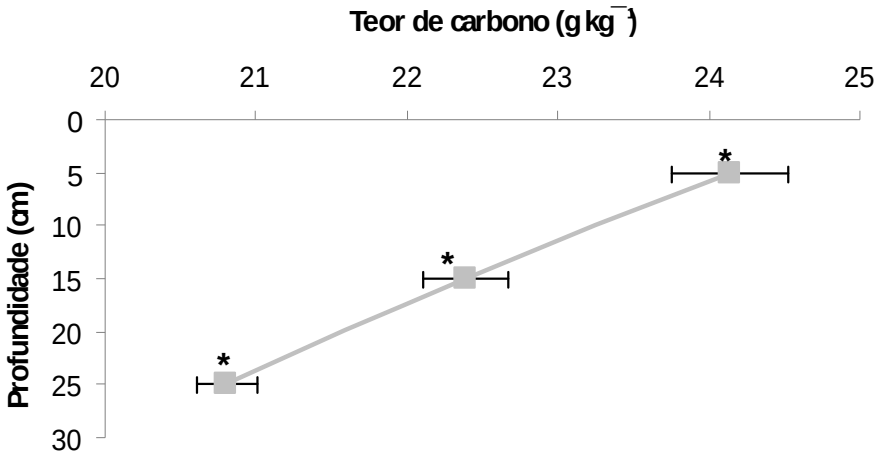

Figura 7 – Teor do carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) nas três profundidades avaliadas. O asterisco (*) indica que houve diferença estatística entre as camadas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Robertson (2003) reporta também a estratificação do COS, em função da profundidade, mais pronunciado em áreas de cana-de-açúcar sem queima do que em áreas com queima previa ao processo de colheita.

Quanto ao estoque de C verificou-se que este é maior nas profundidades 0-10 e 10-20 (Figura 8), sendo que não há diferenças significativas no valor encontrado nestas duas profundidades. Quando avaliadas essas camadas, verifica-se que cada uma delas representa em torno de 34% do estoque de C presente até 30 cm de profundidade, o qual apresentou valor de 94,6 Mg ha^{-1}. Essa distribuição homogênea do estoque de C no solo evidencia a influência do adensamento do solo com o incremento da profundidade, uma vez que a tendência da concentração deste elemento foi de decréscimo.

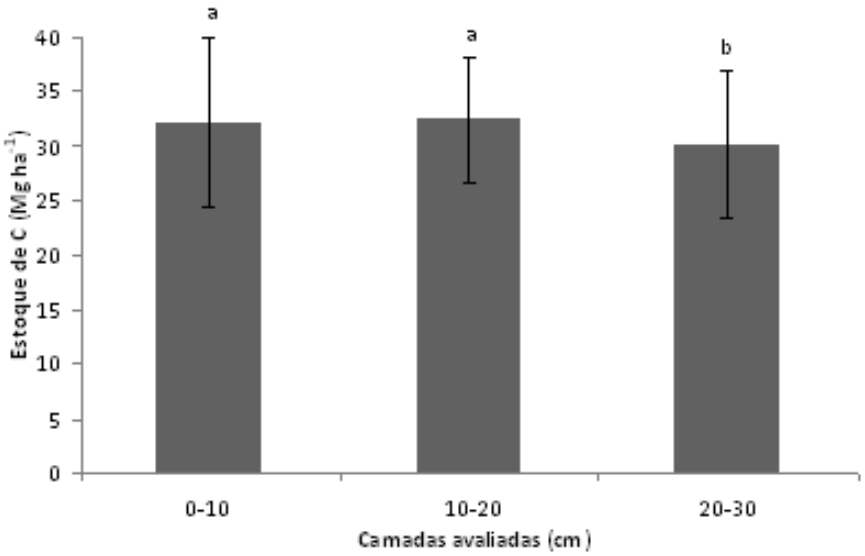

Figura 8 - Estoque de C do solo na área experimental nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm

Diversos estudos indicaram valores de estoque de C altos em solos sob cana-de-açúcar colhida mecanicamente. Luca et al. (2008) em experimento conduzido sobre um Latossolo Vermelho distrófico no estado de São Paulo encontrou que, após três anos de cultivo sem queima, o estoque de C na camada 0-20 cm foi superior do observado no mesmo solo sob manejo com queima da palhada. Razafimbelo et al. (2006) avaliando áreas de cana com 6 anos de cultivo com e sem queima, obtiveram na camada 0-10 cm um incremento de 3,9 Mg ha^{-1} de C na área sem queima.

Considera-se que a concentração de carbono na biomassa da cana-de-açúcar é de aproximadamente 40% (BALL-COELHO et al., 1993; DE OLIVEIRA et al., 1999), e que a quantidade de resíduos depositados na superfície do solo está em torno de 14 Mg ha^{-1}. A quantidade de C que estaria sendo adicionada anualmente ao solo seria aproximadamente 5,6 ton ha^{-1}, dos quais somente o 20% são estocados no solo. Assim o estoque de C encontrado nesta área seria o resultado da interação de outros fatores alem da palha, tais como possíveis adubações, irrigação com vinhaça, rotação de culturas, entre outros eventos no histórico da área.

Uma visão mais detalhada da dinâmica do C no solo seria obtida através da amostragem até 100 cm de profundidade; porém considerando que as emissões são geradas nas camadas mais próximas da superfície, tal informação não foi coletada nesta pesquisa.

2.3.3 Temperatura e umidade do solo

Os dados de temperatura e umidade do solo nos sistemas de preparo avaliados, medidos simultaneamente com a emissão de CO_2, estão apresentados a seguir.

A temperatura e a umidade do solo apresentaram tendência semelhante nos sistemas de preparo com e sem palha sobre o solo. A temperatura foi similar em todos os sistemas de preparo avaliados, com leves diferenças que coincidem com os dias em que ocorreram os eventos de preparo. A umidade, entretanto foi mais diferenciada e influenciada pelo grau de perturbação física do solo causada pelas operações de preparo e os eventos chuvosos apresentados no local de estudo.

2.3.3.1 Temperatura e umidade do solo sob sistemas de preparo com palha

A temperatura média do solo considerando todo o período de estudo, apresentou diferenças ao nível de 5% de significância entre os sistemas de preparo avaliados. No sistema PC a temperatura média foi de 23,62 °C, valor superior ao encontrado no TC, PU e PM, os quais apresentaram médias de 23,19; 22,94 e 22,71 °C respectivamente.

A evolução da temperatura do solo ao longo do período da pesquisa, nos sistemas de preparo na condição com palha é apresentada na figura 9. Diferenças ($p<0,05$) nesta variável foram encontradas nos dias 7, 19, 27, 29, 30, 31, além dos últimos quatro dias de avaliação (Tabela 4), coincidindo algumas delas com a realização de eventos de preparo e precipitações na área. A tendência foi de temperatura levemente superior sob o sistema PC (Figura 9). Resultados similares foram reportados por Al-Kaisi e Yin (2005).

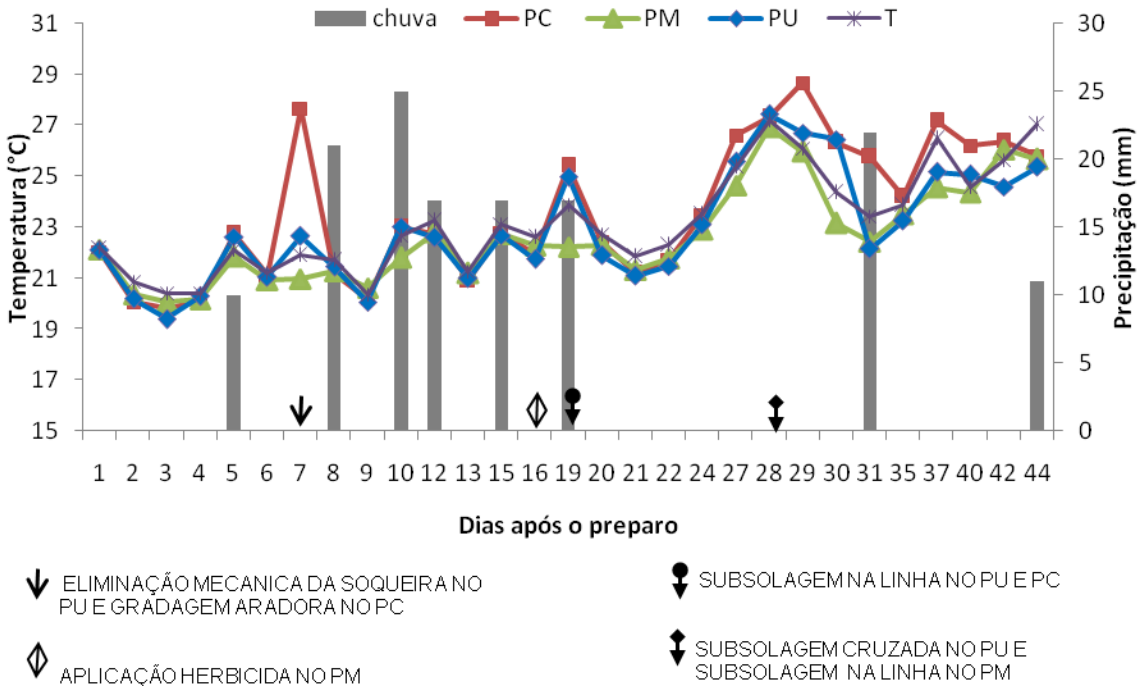

Figura 9 - Temperatura do solo nos sistemas de preparo com palha na superfície do solo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle

Tabela 4 - Médias de temperatura do solo nos sistemas de preparo com palha na superfície do solo

	Temperatura (°C)			
Dia de avaliação	**Preparo convencional**	**Preparo mínimo**	**Preparo usina Iracema**	**Tratamento controle**
1	22,03 A	22,13 A	22,11 A	22,23 A
2	20,07 A	20,36 A	20,18 A	20,86 A
3	19,8 A	20,06 A	19,4 A	20,41 A
4	20,05 A	20,17 A	20,28 A	20,41 A
5	22,76 A	21,86 A	22,62 A	22,13 A
6	21,12 A	20,91 A	21,06 A	21,23 A
7	27,66 A	20,96 C	22,65 B	21,9 BC
8	21,2 A	21,27 A	21,45 A	21,7 A
9	20,2 A	20,62 A	20,07 A	20,36 A
10	23 A	21,8 A	23,03 A	22,68 A
12	22,73 A	22,81 A	22,61 A	23,26 A
13	20,91 A	21,21 A	21 A	21,26 A
15	22,78 A	22,73 A	22,68 A	23,12 A
16	21,93 A	22,27 A	21,76 A	22,61 A
19	25,41 A	22,23 B	24,98 A	23,87 AB
20	22,43 A	22,31 A	21,91 A	22,72 A
21	21,2 A	21,33 A	21,1 A	21,85 A
22	21,73 A	21,78 A	21,48 A	22,3 A
24	23,48 A	22,91 A	23,1 A	23,5 A
27	26,61 A	24,65 B	25,58 A	25,36 A
28	27,32 A	26,93 A	27,42 A	27,18 A
29	28,66 A	25,97 B	26,71 B	26,1 B
30	26,32 A	23,15 B	26,45 A	24,37 B
31	25,78 A	22,43 B	22,15 B	23,42 B
35	24,21 A	23,52 A	23,25 A	23,85 A
37	27,17 A	24,56 C	25,18 BC	26,48 AB
40	26,21 A	24,36 B	25,08 B	24,6 B
42	26,38 A	26,05 AB	24,6 B	25,63 AB
44	25,8 AB	25,66 AB	25,36 B	27,02 A
Média	23,62 A	22,94 C	22,71 D	23,19 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Hillel (1998) explicou diferenças na temperatura do solo com o preparo devido à variação da condutividade térmica do solo; o preparo causou uma baixa condutividade térmica do solo quando comparado a solo não preparado. A perturbação do solo devido ao preparo pode modificar o volume de ar para as partículas do solo mediante a criação de bolsas de ar adicionais que podem ser responsáveis pela redução da capacidade térmica da zona preparada.

Ao contrário da temperatura, a umidade do solo esteve bem mais diferenciada entre os sistemas de preparo, apresentando flutuações ao longo do período de avaliação (Figura 10). Diferenças nesta variável foram encontradas durante o 79% do tempo de pesquisa (Tabela 5) sendo que o Preparo Mínimo (PM) e Tratamento Controle (TC) se caracterizaram em geral por apresentar valores de umidade superiores aos observados no Preparo Usina Iracema (PU) e Preparo Convencional (PC). Esta tendência ocorreu devido à presença de resíduos culturais na superfície do solo, o que contribuiu para o aumento e conservação da umidade nestes sistemas em relação aos demais, especialmente após a ausência de precipitações.

As atividades de preparo ao alterar a estrutura do solo, influenciam também o fluxo de água no seu interior. Observa-se por exemplo no sistema PM um decréscimo da umidade após a execução de operações de subsolagem (28º dia de avaliação). O preparo expõe uma maior superfície do solo para a atmosfera, proporcionando maior área de evaporação, e conseqüentemente, maior perda de água. As proporções dos efeitos vão depender da profundidade, grau e freqüência dos preparos, alem das condições posteriores do clima e reconsolidacão da camada preparada (SALTON, 1995).

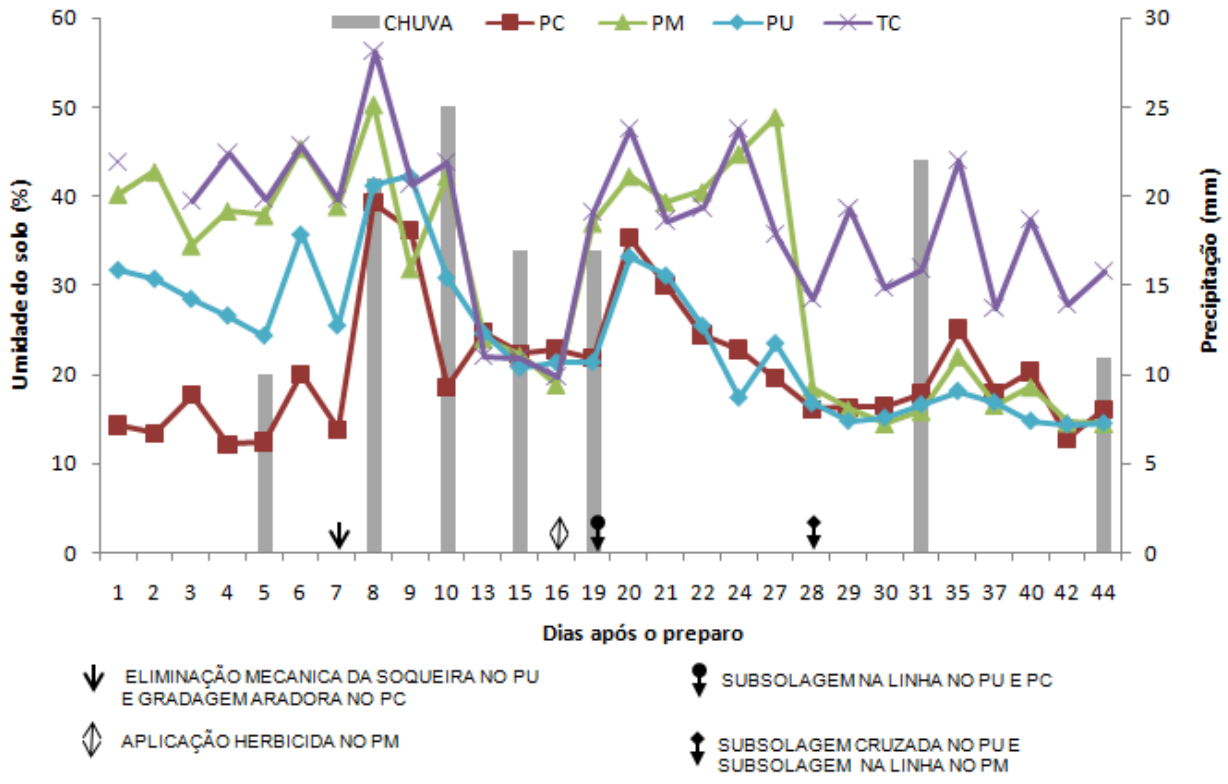

Figura 10 - Umidade gravimétrica do solo sob sistemas de preparo com palha na superfície do solo e precipitações no período de estudo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle

Levando em consideração todo o período de estudo encontrou-se que umidade média foi superior ($p<0,05$) no TC, seguido do PM, seguido do PU e PC (Tabela 5), respectivamente. De acordo com este resultado pode se inferir que os sistemas de preparo que apresentam um menor grau de perturbação física, aliados a presença de palha na superfície do solo, conseguem manter ou conservar maiores porcentagens de umidade água no solo.

Tabela 5 - Médias da umidade do solo nos sistemas de preparo com palha na superfície do solo

	Umidade (%)			
Dia de avaliação	**Preparo convencional**	**Preparo mínimo**	**Preparo usina Iracema**	**Tratamento controle**
1	14,37 B	40,25 A	31,75 A	43,75 A
2	13,50 B	42,75 A	30.75 A	-
3	17,75 B	34,5 A	28,5 AB	39,5 A
4	12,25 C	38,37 AB	26,62 B	44,75 A
5	12,50 C	37,87 AB	24,37 BC	39,62 A
6	20,12 B	45,37 A	35,75 A	45,75 A
7	13,87 C	38,87 AB	25,50 BC	39,62 A
8	39,25 B	50,3 AB	41,25 B	56,25 A
9	36,25 A	31,87 A	42,25 A	41,30 A
10	18,62 B	42,25 A	30,87 AB	43,75 AB
13	24,75 A	24,00 A	24,62 A	22,00 A
15	22,37 A	22,12 A	20,75 A	21,75 A
16	22,87 A	18,87 B	21,37 AB	19,75 AB
19	21,87 B	37,00 A	21,37 B	38,25 A
20	35,37 AB	42,25 AB	33,25 B	47,50 A
21	30,00 A	39,, 37 A	31,12 A	37,25 A
22	24,50 C	40,50 A	25,50 BC	38,75 AB
24	22,87 B	44,75 A	17,37 B	47,50 A
27	19,62 C	48,87 A	23,50 BC	35,75 A
28	16,12 A	18,50 A	16,75 A	28,50 A
29	16,37 B	16,12 B	14,75 B	38,62 A
30	16,50 AB	14,50 B	15,12 B	29,75 A
31	17,87 B	15,87 B	16,62 B	31,87 A
35	25,12 B	22,02 B	18,12 B}	44,00 A
37	18,00 A	16,62 A	16,87 A	27,37 A
40	20,37 B	18,62 B	14,75 B	37,37 A
42	12,87 B	14,62 AB	14,37 AB	27,75 A
44	16,12 B	14,50 B	14,50 B	31,50 A
Média	20,79 C	31,25 B	24,33 D	37,01 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tanto a temperatura quanto a umidade do solo geram um efeito indireto sobre a emissão de CO_2 (SMITH et al., 2003). Em razão disso foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre o fluxo de CO_2 derivado de cada sistema de preparo e a temperatura e a umidade do solo (Tabela 6). Os resultados encontrados indicaram que a temperatura do solo não foi um fator controlador da

emissão de CO_2 do solo nesta pesquisa. No período de avaliação a temperatura do solo teve pequenas mudanças, e assim não exerceu uma influência marcada sobre o fluxo de CO_2. Os resíduos culturais como resultado das operações de preparo poderiam ter influenciado neste comportamento ao funcionar como regulador térmico.

Tabela 6 - Determinação do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo com palha e os fatores abióticos (temperatura e umidade do solo)

	Preparo Convencional	**Preparo Mínimo**	**Preparo Usina Iracema**	**Tratamento Controle**
Temperatura do solo (ºC)	-0, 04	-0, 02	0, 06	0, 17
Umidade do solo (%)	0, 23*	0, 06	0, 00	0, 02

*r é significativa ao nível de 5% de probabilidade

Pesquisas semelhantes sugerem que a influência da temperatura do solo sobre a emissão de CO_2 não é bem clara, dependendo muito das condições experimentais. Em ensaios conduzidos no estado de São Paulo em solo sob cana-de-açúcar não foi encontrada correlação significativa entre o fluxo de CO_2 e a temperatura do solo: durante o curso dos experimentos a temperatura do solo esteve sempre próxima das condições ótimas para atividade microbiana (PANOSSO et al., 2009; LA SCALA Jr. et al., 2006).

Entretanto, em pesquisa desenvolvida em Rio Grande do Sul encontrou-se correlação significativa entre a temperatura do solo e as emissões de CO_2 derivadas de sistema de preparo convencional e plantio direto (ZUCUNI, 2009). Nessa pesquisa possivelmente devido às condições climatologias da região, a variação da temperatura do solo como resultado do preparo é maior, o que passa a ser um fator importante na emissão de CO_2.

Jabro et al. (2008) em estudo ao longo prazo desenvolvido em Williston-EEUU encontrou que a temperatura do solo tem um efeito marcado sobre a evolução do CO_2 liberado do solo, de forma que o fluxo de CO_2 aumenta com a temperatura do solo. Este tipo de resultado poderia ser esperado uma vez que pelo caráter de estudo a longo prazo e devido as características climatológicas da região, observam-se variações na

temperatura do solo muito elevadas (<5°C a ±25°C) que poderiam estar influenciando na emissão de CO_2. Estas características não foram observadas sob as condições desta pesquisa.

Quanto à umidade do solo, observou-se que quando a palha é deixada na superfície do terreno e este é submetido ao preparo convencional, o teor de água é um fator que influencia na emissão de dióxido de carbono. Embora o coeficiente de correlação encontrado seja baixo (Tabela 6), o resultado indica que quando a umidade do solo aumenta no PC, o fluxo de CO_2 aumenta conseqüentemente.

A análise de regressão linear simples feita, uma vez confirmada à correlação significativa entre emissão e umidade neste sistema de preparo, estabeleceu a equação exposta a seguir, a qual descreve o relacionamento entre as duas variáveis:

$$FCO_2 = 3{,}2488 + 0{,}0859 \text{ Umidade} \qquad \text{Eq. (2)}$$

Onde FCO_2 = fluxo CO_2; 3,2488 e 0,0589 correspondem aos coeficientes linear e angular respectivamente, e Umidade faz referencia ao teor de água no solo expresso em porcentagem. O coeficiente angular de regressão apresentado nesta equação é pequeno, ratificando uma sensibilidade do fluxo de CO_2 frente a umidade do solo baixa; a cada incremento de 1% na umidade, o fluxo de gás carbônico aumenta 85,9 mg m^{-1} h^{-1}.

Diversos estudos têm demonstrado que a umidade do solo é um fator controlador da emissão de CO_2, e que a sensibilidade do fluxo de CO_2 a umidade do solo é maior no sistema Preparo Convencional quando comparado ao Tratamento Controle e ao Preparo Mínimo (JABRO et al., 2008; LA SCALA Jr. et al., 2006; USSIRI; LAL, 2009). A percolação de água no solo preparado é mais fácil do que em um não preparado, principalmente quando há presença de resíduos na superfície (LA SCALA Jr. et al., 2006); a atividade microbiana é estimulada pela umidade do solo e por tanto incrementa a emissão de CO_2 (JABRO et al., 2008).

Os sistemas PU, PM e o TC não apresentaram correlação significativa entre as duas variáveis testadas, este comportamento poderia ser causado possivelmente pelo efeito regulador da palha aliado a menor perturbação do solo.

2.3.3.2 Temperatura e umidade do solo sob sistemas de preparo sem palha

Quando a palha foi retirada do solo e executados os diferentes sistemas de preparo, observou-se que a temperatura apresentou tendência semelhante em todos os sistemas de preparo avaliados (Figura 11), com algumas diferenças nos dias 3, 7, 9, 29, 30, 42 e 44, algumas delas coincidindo com os eventos de preparo (Tabela 7).

A temperatura média do solo no período de estudo foi superior no TC ($p<0,05$); nos sistemas PM e PC este parâmetro apresentou valores médios de 23,56 e 23,53 °C, respectivamente, sem diferença significativa entre eles. A temperatura média do PU foi de 23,34 °C, sendo que este valor não difere daquele observado no PC.

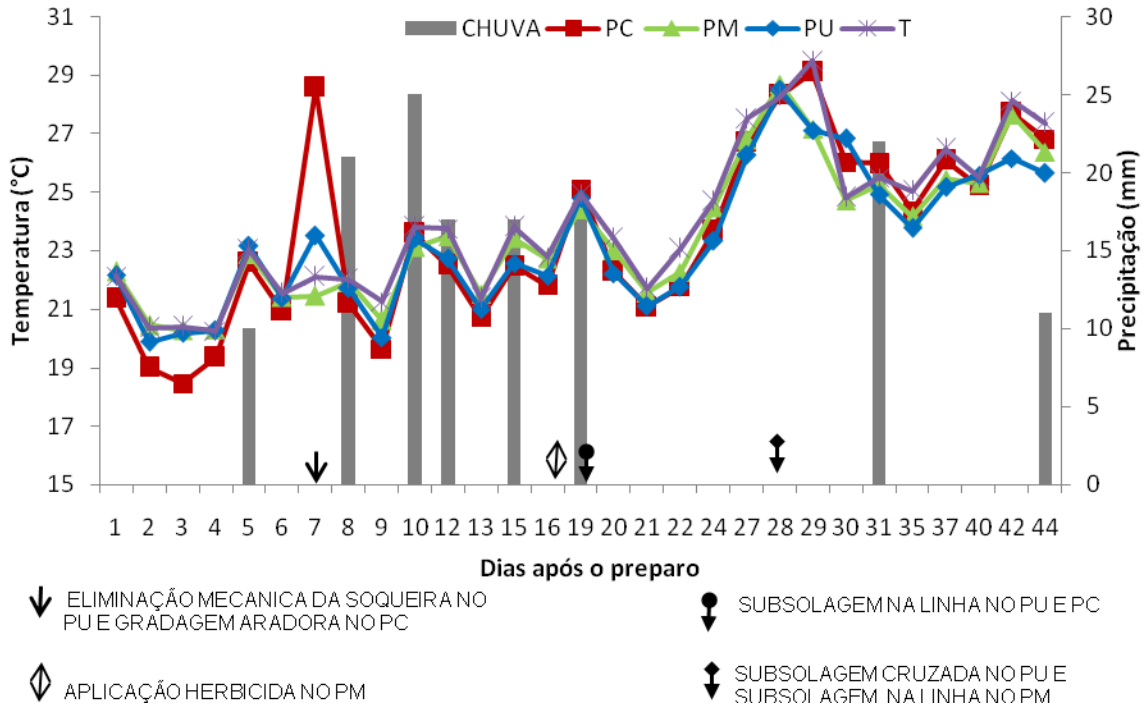

Figura 11 - Temperatura do solo nos sistemas de preparo sem palha na superfície do solo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle

Tabela 7 – Temperatura do solo nos sistemas de preparo sem palha na superfície do solo

	Temperatura (°C)			
Dia de avaliação	**Preparo convencional**	**Preparo mínimo**	**Preparo usina Iracema**	**Tratamento controle**
1	21,37 A	22,28 A	22,16 A	22,13 A
2	19,01 A	20,46 A	19,88 A	20,36 A
3	18,46 B	20,27 A	20,18 A	20,4 A
4	19,35 A	20,3 A	20,27 A	20,25 A
5	22,58 A	22,87 A	23,15 A	23,03 A
6	20,92 A	21,41 A	21,38 A	21,55 A
7	28,58 A	21,45 C	23,52 B	22,11 BC
8	21,2 A	21,92 A	21,71 A	22,03 A
9	19,63 B	20,63 A	20,03 A	21,25 A
10	23,6 A	23,12 A	23,43 A	23,82 A
12	22,5 A	23,48 A	22,72 A	23,75 A
13	20,7 A	21,52 A	21 A	21,37 A
15	22,47 A	23,42 A	22,57 A	23,81 A
16	21,8 A	22,73 A	22,13 A	22,78 A
19	25,1 A	24,4 A	24,8 A	24,92 A
20	22,28 A	23 A	22,21 A	23,41 A
21	21,07 A	21,57 A	21,1 A	21,71 A
22	21,75 A	22,27 A	21,77 A	23,06 A
24	23,68 A	24,46 A	23,33 A	24,7 A
27	26,71 A	26,8 A	26,27 A	27,5 A
28	28,32 A	28,7 A	28,5 A	28,28 A
29	29,1 A	27,17 B	27,11 B	29,47 A
30	26,02 AB	24,72 B	26,83 A	24,81 B
31	25,97 A	25,26 A	24,91 A	25,5 A
35	24,37 A	24,17 A	23,78 A	25,03 A
37	26,08 A	25,45 A	25,18 A	26,48 A
40	25,21 A	25,31 A	25,58 A	25,5 A
42	27,7 AB	27,65 AB	26,15 B	28,12 A
44	26,81 AB	26,37 AB	25,66 B	27,36 A
Média	23,53 BC	23,56 B	23,34 C	23,95 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O análise do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a temperatura do solo e o fluxo de CO_2 (Tabela 8) mostrou que nos sistemas Preparo Mínimo (PM), Preparo Usina Iracema (PU), e Tratamento Controle (TC) há influencia significativa da

temperatura do solo sobre a emissão de CO_2. No sistema Preparo Convencional não foi encontrada correlação entre estas duas variáveis.

Tabela 8 - Determinação do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo sem palha e os fatores abióticos (Temperatura e umidade do solo)

	Preparo Convencional	**Preparo Mínimo**	**Preparo Usina Iracema**	**Tratamento Controle**
Temperatura do solo (ºC)	0, 04	0, 21*	0, 55*	0, 26*
Umidade do solo (%)	0, 10	-0, 12	-0, 37*	-0, 23*

*r é significativa ao nível de 0,05% de probabilidade

A temperatura do solo por ser um importante fator no controle da maioria dos processos no ciclo do carbono exibe grande amplitude no seu efeito sobre as taxas de emissão de CO_2 do solo. Nesta pesquisa os coeficientes de correlação encontrados entre a temperatura do solo e o fluxo de CO_2 são baixos. Porém os resultados indicam que quando a palha é retirada da superfície do solo e a área preparada sob operações associadas aos sistemas PU, PM e TC, um incremento na temperatura do solo acelera a oxidação, a decomposição da matéria orgânica, e a atividade microbiana. Esta aceleração incrementa a emissão de CO_2.

Assim verifica-se que a cobertura do solo proporcionada pelo manejo influencia a evaporação afetando a incidência de energia na superfície do solo.

Al-Kaisi e Yin (2005) reportaram contribuição da temperatura do solo na emissão de CO_2. Nesse estudo a temperatura do solo variou, em um período de 20 dias de avaliação, de -9 a 6°C.

Ussiri e Lal (2009) em experimento ao longo prazo conduzido em Ohio - Estados Unidos encontraram correlação positiva (significativa) entre a temperatura do solo a 5, 10, 20 cm de profundidade e o fluxo diário de CO_2. Devido a seu caráter de longo prazo a temperatura do solo modera geralmente variações estacionais no fluxo de CO_2 para todos os sistemas de preparo por eles avaliados, com altos fluxos durante o verão, quando a temperatura é alta e a atividade biológica também.

A análise de regressão linear realizada nos sistemas de preparo onde foi verificada correlação significativa entre as variáveis, estabeleceu as equações apresentadas na

tabela 9. De acordo com esses resultados a sensibilidade da emissão de CO_2 à temperatura do solo foi maior sob o sistema PU do que no PM e TC, respectivamente, sistemas de preparo que tiveram menor perturbação do solo.

Tabela 9 – Modelos de regressão linear simples entre o fluxo de CO_2 do solo derivado de sistemas de preparo sem palha e os fatores abióticos (Temperatura (T) e umidade do solo (U))

Sistemas de preparo	**Temperatura do solo (ºC)**	**r^2**
Mínimo (PM)	FCO_2 = -1,3396 + 0,1675 T	0,04
Usina Iracema (PU)	FCO_2 = -9,905 + 0,5768 T	0,31
Controle (TC)	FCO_2 = -0,4028 + 0,1358 T	0,07
	Umidade do solo (%)	
Usina Iracema (PU)	FCO_2=5,7074 – 0,0892 U	0,14
Controle (TC)	FCO_2=3,7967 – 0,0327 U	0,05

A umidade do solo foi mais variável (Figura 12); apresentando média superior nos sistemas PM e TC, com valores de 29,53 e 28,39% respectivamente, sendo que estes valores não diferiram entre si ($p<0,05$). Nos sistemas PU e PC a umidade média foi 23,73 e 19,19% respectivamente.

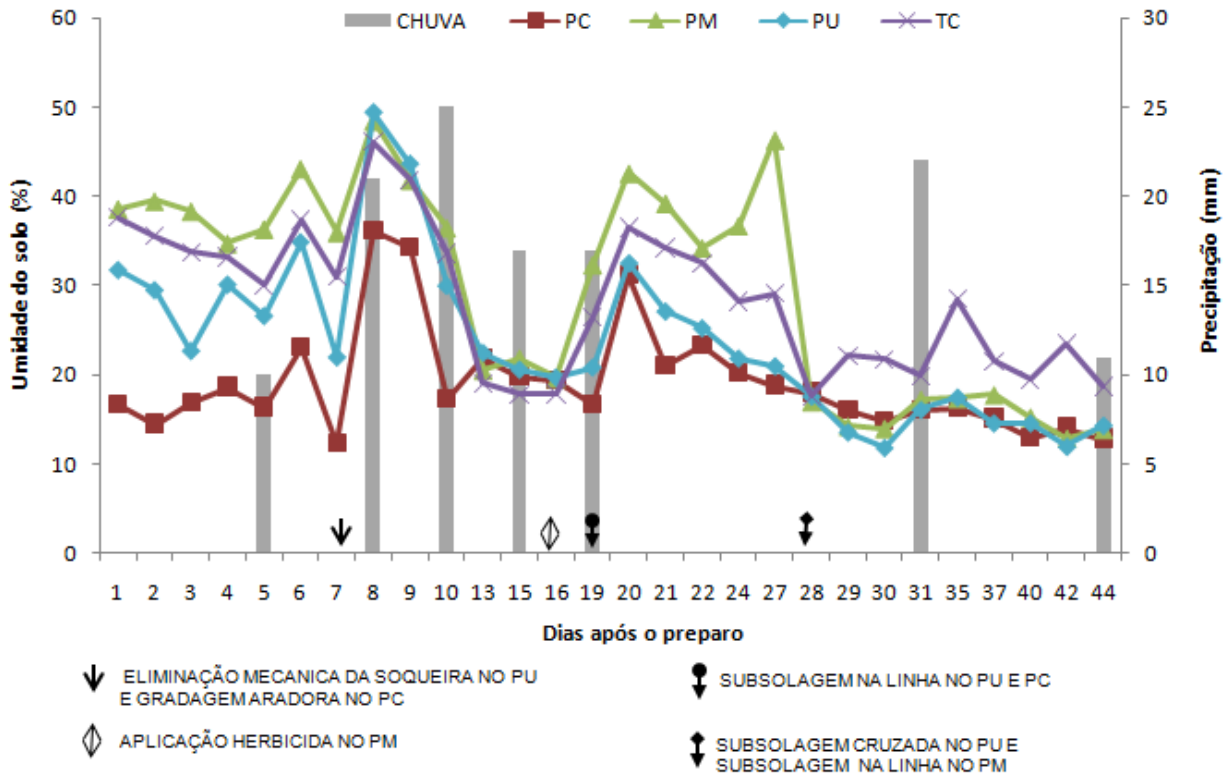

Figura 12 - Umidade gravimétrica do solo sob sistemas de preparo sem palha na superfície do solo e precipitações no período de estudo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle

Foram observadas algumas diferenças na umidade do solo entre os sistemas preparo, ao longo do período de estudo (Tabela 10). A palha contribuiu com a conservação da umidade no solo, assim a maior ou menor incorporação dela devidos as operações de preparo geraram diferenças nesta variável entre os diferentes tratamentos testados. Por tanto quando a mesma é retirada e o preparo executado a proporção em que a umidade no solo varia é menor, situação registrada nesta pesquisa.

Tabela 10 – Umidade do solo nos sistemas de preparo sem palha

	Umidade (%)			
Dia de avaliação	**Preparo convencional**	**Preparo mínimo**	**Preparo usina Iracema**	**Tratamento controle**
1	16.62 B	38,62 A	31,75 A	37,62 A
2	14,5 B	39,50 A	29,50 A	35,57 A
3	16,87 B	38,37 A	22,72 B	33,75 AB
4	18,62 C	34,75 A	30,12 B	33,25 AB
5	16,37 B	36,37 A	26,62 AB	30,00 AB
6	23,12 B	43,12 A	34,87 AB	37,37 A
7	12,37 C	36,00 A	22,00 BC	31,00 AB
8	36,12 A	48,50 A	49,37 A	46,12 A
9	34,25 A	41,87 A	43,62 A	41,87 A
10	17,37 B	36,50 A	30,00 A	33,62 A
13	21,87 A	20,50 A	22,50 A	19,00 A
15	19,75 A	21,87 A	20,62 A	17,75 A
16	19,37 A	19,62 A	19,75 A	17,87 A
19	16,75 B	32,37 A	20,87 B	26,50 AB
20	31,25 A	42,62 A	32,50 A	36,50 A
21	21,00 B	39,25 A	27,12 AB	34,25 AB
22	23,37 A	34,25 A	25,25 A	32,50 A
24	20,25 B	36,75 A	21,87 B	28,25 AB
27	18,87 B	46,37 A	21,00 B	29,12 B
28	18 A	17 A	17,62 A	17,62 A
29	16 A	14,25 A	13,62 A	22,12 A
30	14,87 A	14,00 A	11,87 A	21,75 A
31	16,12 A	17,25 A	16,12 A	19,87 A
35	16,37 A	17,37 A	17,50 A	28,50 A
37	15,12 A	17,75 A	14,62 A	21,50 A
40	13,00 A	15,25 A	14,62 A	19,50 A
42	14,12 A	12,87 A	12,00 A	23,50 A
44	12,87 B	13,87 A	14,37 A	18,75 A
Média	19,19 C	29,53 A	23,71 B	28,39 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de correlação de Pearson (Tabela 8) apresentou valores negativos significativos entre a umidade do solo e o fluxo de CO_2 proveniente dos sistemas de preparo PU e TC, sugerindo uma influência do conteúdo de água na difusividade do gás no solo. Porém ao analisar detalhadamente a umidade destas áreas observou-se que o

conteúdo de água não foi elevado a ponto de afetar o processo de transporte do gás do interior do solo para a superfície. Assim é possível afirmar que esta correlação negativa é um efeito secundário da correlação positiva entre emissão e temperatura do solo. Ou seja, mais do que um efeito do conteúdo de água do solo sobre a emissão é um efeito da temperatura do solo sobre a emissão de CO_2; fato que pode ser verificado no coeficiente angular calculado nas regressões lineares (Tabela 9). Estes valores foram baixos, sugerindo baixa sensibilidade da emissão à umidade do solo.

2.3.4 Evolução da emissão de CO_2

O sistema preparo convencional apresentou fluxo de CO_2 superior ($p<0,05$) em relação aos demais manejos. Aumentos na emissão de CO_2 são verificados nos dias em que operações de preparo foram executadas e em que registraram-se eventos chuvosos.

2.3.4.1 Emissão de CO2 derivada de sistemas de preparo com palha

Durante todo o período de avaliação verificou-se fluxo de CO_2 nas parcelas com palha sobre a superfície do solo (Figura 13) superior no PC quando comparado a PU, PM, e o TC com médias de 0,82; 0,56; 0,51 e 0,49 g m^{-2} h^{-1} respectivamente (Tabela 11).

Valores similares, porém menores aos encontrados nesta pesquisa foram observados em estudo que avaliou a emissão de CO_2 derivada do uso da enxada rotativa, subsolador, arado de disco+grade, e grade pesada+grade leve, no qual a emissão média foi maior nos tratamentos que incluíram uso do subsolador e aração e gradagem (LA SCALA et al., 2001).

Na figura 14 pode-se observar que o maior valor de emissão CO_2 foi verificada no PC durante o 13º dia de avaliação, com 1,88 g m^{-2} h^{-1}, cinco dias após a execução de gradagem nesta área e eventos chuvosos nos dias anteriores. A realização das subseqüentes operações de gradagem aradora e subsolagem no PC (1,12 e 1,51 g m^{-2}

h^{-1} de CO_2 respectivamente) também geraram valores de emissão de CO_2 elevados em relação aos demais dias avaliados.

No sistema de preparo Usina Iracema os maiores valores de emissão registraram-se nos dias em que as operações de preparo foram realizadas. Entretanto, no sistema Preparo Mínimo a tendência nas emissões durante os primeiros 27 dias de estudo estiveram muito similares as observadas na parcela do tratamento controle, isto devido a ausência de operações que causam alteração física no solo. No dia 28 quando executou-se subsolagem na linha de plantio foi gerada uma quantidade de emissão de CO_2 superior ao observado no TC e próximo ou similar do encontrado no PU, parcela que também recebeu operações de preparo nesta mesma data (Figura 13).

O preparo altera a decomposição da matéria orgânica do solo promovendo a areação, o quebramento dos agregados, e a incorporação dos resíduos culturais a maiores profundidades do solo.

Ellert e Janzen (1999) observaram que imediatamente após o preparo, o fluxo de CO_2 em áreas preparadas incrementou de dois a quatro vezes acima dos níveis do fluxo antes do preparo; mas o aumento é de curta duração e o fluxo em áreas preparadas e não preparadas é semelhante depois de 24 horas.

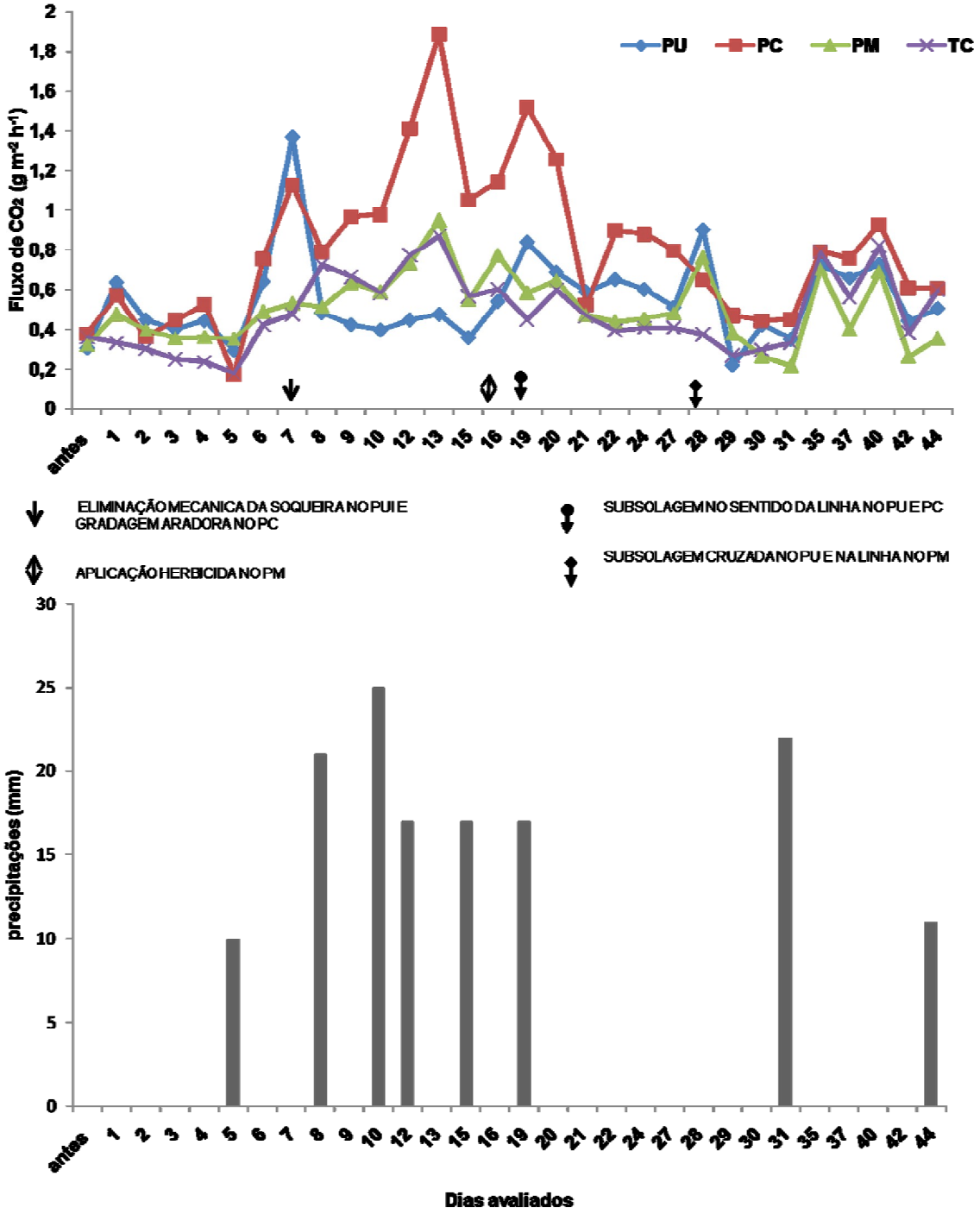

Figura 13 - Emissões de CO_2 nos sistemas de preparo usina Iracema (PU), preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) com palha, avaliadas com o LI–8100 e precipitações durante o período de estudo

O teste F da análise de variância indicou uma interação altamente significativa ($p<0,001$) entre preparo do solo, deposição da palhada e tempo depois o preparo,

indicando que o tempo depois do preparo deve ser considerado quando é avaliado o efeito do preparo sobre a emissão de CO_2.

Emissões de 0,63; 0,57 e 0,47 g m^{-2} h^{-1} de CO_2 foram encontradas um dia após a realização das primeiras operações do preparo nas parcelas experimentais com palha correspondentes aos sistemas PU, PC e PM, respectivamente (Tabela 11). A parcela TC apresentou média de emissão de CO_2 inferior, com valor de 0,33 g m^{-2} h^{-1}, sendo que estes valores não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (Tabela 11).

Valores semelhantes foram encontrados em estudo realizado sobre Latossolo Vermelho no Estado de São Paulo (LA SCALA Jr., et al., 2001). No entanto outras pesquisas têm observado valores de emissão superior, um dia após a realização do evento de preparo, aos encontrados neste estudo (ZUCUNI, 2009; LA SCALA JR. et al., 2006). Alvarez et al. (2001) em pesquisa realizada na Pampa Argentina não encontrou diferenças significativas nos valores de emissão de CO_2 derivado de sistemas PC e plantio direto um dia após o preparo.

O processo de separação de médias (Tabela 11) indica que os valores de emissão de CO_2 nos sistemas de preparo avaliados durante os 6 primeiros dias de estudo (após eventos de preparo em PC e PU) não são diferentes ao nível de 5% de significância. Várias pesquisas indicam que o efeito do preparo do solo sobre a emissão de CO_2 é imediato, o fluxo de CO_2 declina consideravelmente após poucas horas das operações de preparo (OMONODE et al., 2007; KAISI; YIN, 2005; REICOSKY et al., 1997; FUENTES et al., 2007).

Mudanças no fluxo de CO_2 derivadas dos sistemas de preparo com palha, ao longo do tempo avaliado, podem ser melhor observadas na Figura 13. Nota-se um aumento na emissão nos dias em que ocorreram operações de preparo e após eventos chuvosos. Diferenças significativas ($p<0,05$) nos valores de fluxo entre os sistemas de preparo estudados foram encontradas somente nos dias 7, 12, 13, 15, 19 e 20.

As operações de eliminação mecânica da soqueira a cada duas linhas de plantio, realizadas durante o sétimo dia de estudo no sistema PU, geraram um incremento na média da emissão de CO_2 do solo, pois o fluxo observado imediatamente após preparo difere significativamente do fluxo encontrado no dia anterior. Estes resultados sugerem

que há um forte impacto do destruidor mecânico de soqueira usado no PU sobre a liberação imediata de CO_2. Este implemento perturba o solo em uma menor profundidade quando comparado com a grade aradora, porém, quebra a estrutura do solo em agregados menores, expondo a matéria orgânica lábil em menor período de tempo e liberando o CO_2 acumulado nos poros do solo.

Um forte incremento na emissão CO_2 imediatamente após as operações de preparo pode ser atribuído a um rápido incremento da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica lábil (AL KAISI; YIN, 2005). No entanto, outras pesquisas têm sugerido que o incremento na emissão imediata de CO_2 após preparo, acelera a atividade microbiana pela maior areação causada pelo preparo (JACKSON, 2003; ROBERTS; CHAN, 1990)

Rochette e Angers (1999) usaram o termo degaseificação para designar tal incremento na emissão de CO_2 imediatamente (algumas horas) após o preparo, a qual é resultante de mudanças nas características físicas de solos preparados. Prior et al. (2000) sugeriu que o fluxo inicial de CO_2 após o preparo está relacionado com a profundidade e o grau de perturbação do solo.

Por outro lado, o sistema PC não causou alteração na emissão de CO_2, pois não foi observada variação significativa da média da emissão quando comparada aquela do dia anterior; o valor da emissão neste sistema também não diferiu da média achada no sistema PU, porém poderia se afirmar que o seu efeito sobre a emissão imediata de CO_2 é menor. Sabe-se que a grade aradora perturbou o solo em uma maior profundidade, no entanto espera-se que este implemento quebre a estrutura do solo em agregados de tamanho superior, não causando grande impacto na exposição do carbono intra ou inter agregados como no caso do eliminador mecânico usado no sistema PU.

Tabela 11 - Médias de emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo com palha na superfície do solo

Emissão de CO_2 (g m^{-2} h^{-1})				
Dia de avaliação	**Preparo convencional**	**Preparo mínimo**	**Preparo usina Iracema**	**Tratamento controle**
1	0,57 A	0,48 A	0,64 A	0,33 A
2	0,36 A	0,40 A	0,45 A	0,30 A
3	0,45 A	0,36 A	0,40 A	0,25 ABC
4	0,53 A	0,36 A	0,44 A	0,23 ABC
5	0,17 A	0,35 A	0,29 A	0,18 A
6	0,75 A	0,49 A	0,64 A	0,42 A
7	1,13 AB	0,53 BC	1,37 A	0,47 C
8	0,79 A	0,51 A	0,48 A	0,73 A
9	0,97 A	0,63 A	0,42 A	0,66 A
10	0,98 A	0,59 A	0,40 A	0,58 A
12	1,41 A	0,73 B	0,45 A	0,77 B
13	1,89 A	0,95 B	0,48 A	0,87 B
15	1,05 A	0,55 AB	0,36 B	0,57 AB
16	1,14 A	0,77 A	0,54 A	0,60 A
19	1,52 A	0,58 B	0,84 B	0,45 B
20	1,25 A	0,65 AB	0,69 AB	0,60 B
21	0,52 A	0,47 A	0,59 A	0,47 A
22	0,90 A	0,44 A	0,65 A	0,39 A
24	0,88 A	0,45 A	0,60 A	0,41 A
27	0,80 A	0,48 A	0,51 A	0,41 A
28	0,65 A	0,76 A	0,90 A	0,37 A
29	0,47 A	0,38 A	0,22 A	0,27 A
30	0,44 A	0,27 A	0,42 A	0,30 A
31	0,45 A	0,21 A	0,35 A	0,33 A
35	0,79 A	0,70 A	0,72 A	0,79 A
37	0,76 A	0,40 A	0,66 A	0,56 A
40	0,93 A	0,69 A	0,73 A	0,82 A
42	0,61 A	0,26 A	0,44 A	0,38 A
44	0,60 A	0,35 A	0,50 A	0,60 A
Média	**0,82 A**	**0,51 B**	**0,56 B**	**0,49 B**

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

No 8º dia de estudo o valor da média de emissão de CO_2 no sistema Preparo Usina Iracema (PU) diminuiu consideravelmente, diferindo ao nível de 5% de significância do valor observado no sétimo dia. Outros trabalhos reportam a tendência de queda da emissão subseqüente ao preparo de forma semelhante. (LA SCALA JR. et al., 2001, 2006); ALVAREZ et al., 2001; ROCHETTE; ANGERS, 1999; REICOSKY; LINDSTROM (1993). Reicosky e Archer (2007) avaliando o efeito da profundidade da aração na emissão de CO_2 observaram que há um rápido declínio no fluxo durante os primeiros minutos, com um tempo de 0,22 h após atividades de preparo, o que reflete que o preparo induz a uma perda gasosa do solo, seguida por um declínio gradual nas primeiras cinco horas.

Entretanto o fluxo de CO_2 se manteve sem diferenças significativas ($p<0,05$) em relação às médias encontradas no dia anterior, e sem diferenças entre si nos sistemas Preparo Convencional (PC), Preparo Mínimo (PM) e Tratamento Controle (TC).

Maior fluxo de CO_2 no sistema PC observado durante os 12º e 13º dias de estudo (Tabela 11) foi causado possivelmente por mudanças na umidade do solo devido à ocorrência de precipitações na área, uma vez que a infiltração da água da chuva desloca CO_2 que tem sido acumulado no espaço poroso do solo durante o período seco; além disso, a molhagem do solo pode causar quebramento dos agregados do solo, expondo matéria orgânica, e incrementando a acessibilidade do substrato que pode ser rapidamente mineralizado. Em estudo desenvolvido na península Coreana foi observado que o fluxo de CO_2 incrementa significativamente próximo de 10 horas após evento chuvoso e diminui firmemente até retornar ao nível observado antes do evento chuvoso depois de quatro dias (KIM et al., 2010); tendência semelhante a encontrada nesta pesquisa, já que o fluxo de CO_2 no PC diminuiu no 15º dia experimental.

As operações de subsolagem na linha executadas nas parcelas de PC e PU durante o 19º dia de estudo foram aparentemente a causa das diferenças ($p<0,05$) observadas neste dia. O PC atingiu fluxo de CO_2 de 1,51 g m^{-2} h^{-1}, valor superior em relação ao fluxo observado nos demais sistemas de preparo; os quais não apresentam diferenças significativas entre eles. A interação entre a incorporação dos resíduos orgânicos e a perturbação do solo afeta a oxidação biológica e areação, influenciando sobre o fluxo de CO_2.

Devido às características físicas do solo na parcela PC, a subsolagem realizada explora uma maior profundidade (aproximadamente 45 cm), a qual é mais importante do que a incorporação de resíduos, na magnitude da emissão imediata de CO_2 (REICOSKY; LINDSTROM (1994). Teixeira (2007) em experimento conduzido no estado de São Paulo, avaliando a influência da profundidade do escarificador sobre a emissão de CO_2, encontrou que quanto maior a profundidade de trabalho desse sistema, maior a emissão.

Nos seguintes treze dias de estudo, as emissões de CO_2 não foram diferentes entre os sistemas de preparo testados. Nas parcelas preparadas a tendência visual foi de diminuição do fluxo em função do tempo após atividades de preparo (Figura 13), especialmente após PC.

Para concluir as diversas atividades em todos os sistemas de preparo, foram realizadas operações de subsolagem na linha (PM) e subsolagem cruzada (PU) no 28º dia de avaliação. Contrario a tendência observada ao longo do experimento, não foi observado um incremento no fluxo de CO_2 nestas parcelas; sendo que estes valores não foram diferentes ($p<0,05$) dos observados nos demais sistemas de preparo. O subsolador, quando aplicado em uma área não perturbada, como no caso da parcela no PM, quebra a estrutura do solo em grandes torrões, expondo menor quantidade de carbono à atividade microbiana; o qual associado à barreira física imposta pela palha na superfície pode ter resultado em uma menor emissão imediata de CO_2.

Embora sem muitas diferenças significativas entre as médias do fluxo de CO_2 dos sistemas de preparo em função do tempo, a tendência observada no período de estudo foi de emissões superiores no sistema Preparo Convencional (PC), quando comparado aos demais sistemas de preparo (Figura 13). As operações de gradagem aradora combinada com subsolagem no PC em áreas com palha, geraram um maior impacto nas perdas de CO_2 à atmosfera durante o tempo avaliado. Os resultados encontrados nesta pesquisa indicam que o efeito do PC persiste até pelo menos 25 dias depois de iniciado o experimento.

A matéria orgânica é protegida do ataque microbiano no interior dos agregados do solo; sendo que o tempo de residência dessa proteção está diretamente relacionado à estabilidade dos mesmos e de seus agentes ligantes, a qual é alterada pelas operações

de preparo. Assim, a aração e a gradagem geram desestruturação e inversão do solo seguida por rápida perda de CO_2 e ingresso de oxigênio no solo, tudo isso associado a incorporação ou mistura de resíduos culturais no solo, disponibilizando-os ao ataque microbiano (REICOSKY, 2001).

2.3.4.2 Emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo sem palha

A emissão de CO_2 nos sistemas de preparo sob a condição sem palha apresenta tendência semelhante à descrita quando a palha é mantida sobre o solo. Incrementos no fluxo de CO_2 à atmosfera são observados nos dias em que foram realizadas as correspondentes operações de preparo e em que se apresentaram precipitações sobre a área (Figura 14).

As diferenças significativas encontradas na emissão entre os sistemas de preparo avaliados dependeram do dia de estudo (Tabela 12). Assim, durante os primeiros seis dias experimentais, após a execução de operações de gradagem aradora no PC e eliminação mecânica da soqueira no PU, o fluxo de CO_2 não apresentou diferenças ($p<0,05$) entre os sistemas de preparo.

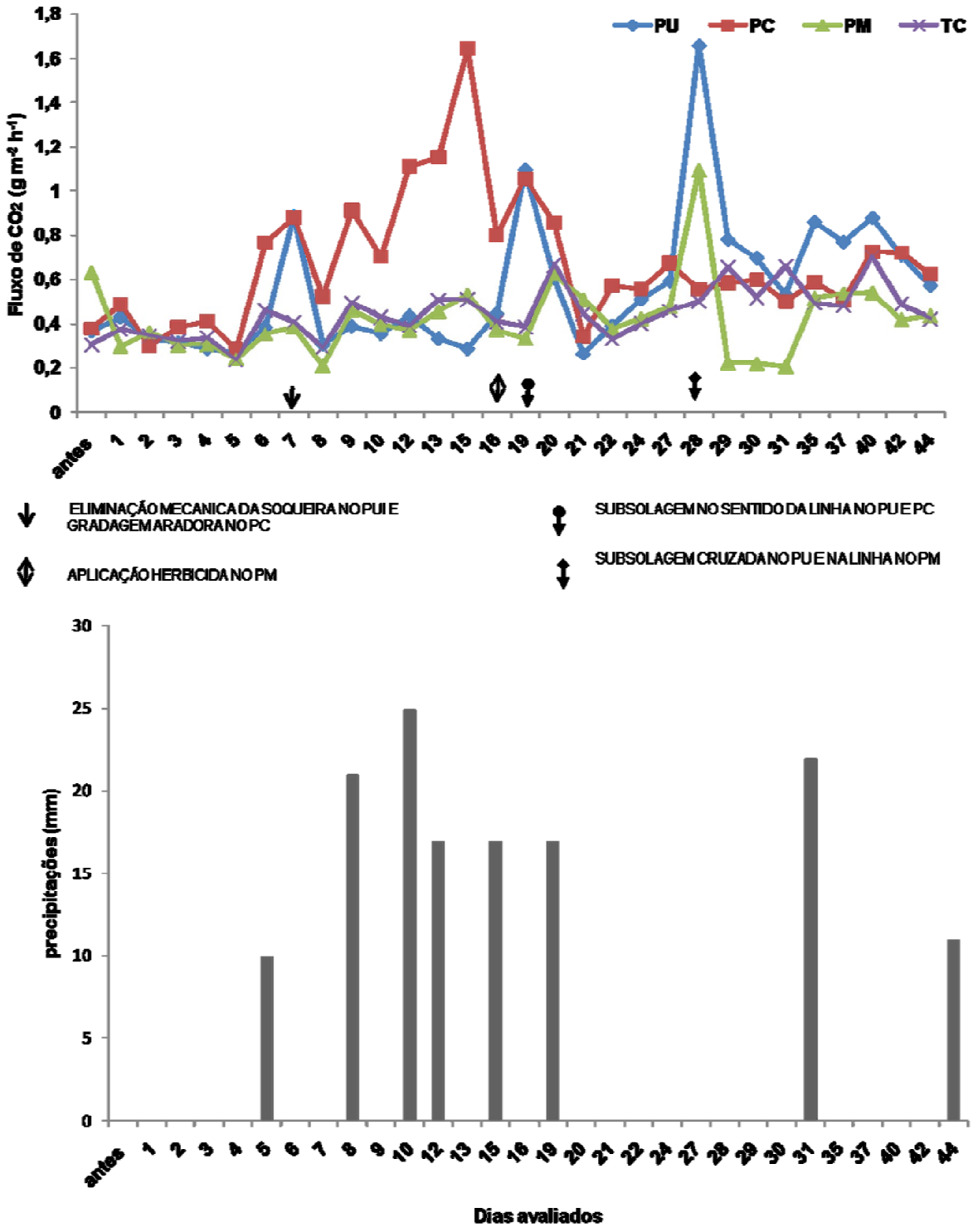

Figura 14 - Emissões de CO_2 nos sistemas de preparo usina Iracema (PU), preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) sem palha, avaliadas com o LI–8100 e precipitações durante o período de estudo

Da mesma forma, as operações executadas durante o 7º dia de estudo nos sistemas PC e PU não alteraram o fluxo de CO_2. Estes resultados diferem dos encontrados em outras pesquisas, onde foi observado um incremento na emissão de CO_2 após a passagem de implementos de preparo (REICOSKY; ARCHER, 2007; LA SCALA JR. et al., 2001, 2006; ALVAREZ et al., 2001; ROCHETTE; ANGERS, 1999; REICOSKY; LINDSTROM, 1993; FUENTES et al., 2007; OMONODE et al., 2007; YOO; WANDER, 2006; AL-KAISI; YIN, 2005). De acordo com estes resultados pode-se afirmar que quando a palha é retirada da superfície do solo o efeito da gradagem aradora e da eliminação mecânica da soqueira na liberação imediata de CO_2 é nulo.

Tabela 12 - Médias de emissão de CO_2 derivada de sistemas de preparo sem palha na superfície do solo

	Emissão de CO_2 (g m^{-2} h^{-1})			
Dia de Avaliação	**Preparo Convencional**	**Preparo Mínimo**	**Preparo Usina Iracema**	**Tratamento Controle**
1	0,48 A	0,30 A	0,43 A	0,37 A
2	0,30 A	0,36 A	0,33 A	0,35 A
3	0,38 A	0,30 A	0,32 A	0,32 A
4	0,41 A	0,31 A	0,29 A	0,34 A
5	0,28 A	0,24 A	0,27 A	0,24 A
6	0,76 A	0,36 A	0,39 A	0,46 A
7	0,88 A	0,39 A	0,88 A	0,41 A
8	0,53 A	0,21 A	0,31 A	0,29 A
9	0,91 A	0,46 A	0,39 A	0,49 A
10	0,70 A	0,40 A	0,36 A	0,43 A
12	1,11 A	0,37 B	0,43 B	0,39 B
13	1,15 A	0,45 B	0,33 B	0,51 B
15	1,64 A	0,53 B	0,29 B	0,51 B
16	0,80 A	0,37 A	0,44 A	0,41 A
19	1,05 A	0,33 B	1,09 A	0,38 B
20	0,85 A	0,62 A	0,61 A	0,66 A
21	0,34 A	0,51 A	0,26 A	0,44 A
22	0,57 A	0,38 A	0,39 A	0,33 A
24	0,56 A	0,42 A	0,51 A	0,40 A
27	0,67 A	0,48 A	0,59 A	0,46 A
28	0,55 B	1,09 AB	1,66 A	0,50 B
29	0,58 A	0,22 A	0,78 A	0,65 A
30	0,60 A	0,22 A	0,70 A	0,52 A
31	0,50 A	0,20 A	0,53 A	0,66 A
35	0,59 A	0,52 A	0,86 A	0,49 A
37	0,51 A	0,54 A	0,77 A	0,48 A
40	0,72 A	0,54 A	0,88 A	0,70 A
42	0,72 A	0,42 A	0,71 A	0,49 A
44	0,62 A	0,44 A	0,57 A	0,42 A
Média	**0,68 A**	**0,41 C**	**0,56 B**	**0,45 C**

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Embora as atividades de preparo não tenham alterado significativamente o fluxo de CO_2, estas causam uma modificação na estrutura do solo, produzindo importantes mudanças nas suas condições microclimáticas. Estas quando influenciadas por fatores externos como a temperatura e a umidade do ambiente induzem à estimulação da atividade microbiana que é refletida em um incremento na emissão de CO_2. Assim, no 12º, 13º e 15º dia de avaliação foi verificado fluxo de CO_2 superior ($p<0,05$) no PC quando comparado aos demais sistemas de preparo (Tabela 12).

A realização das operações de subsolagem na linha de plantio (PC e PU) e subsolagem cruzada e na linha (PU e PM) durante o 19º e 28º dia experimental, respectivamente, geraram incremento no fluxo de CO_2 derivado do solo das parcelas correspondentes. No entanto, apesar da maior profundidade de trabalho atingida no PC no dia 19, os valores de emissão média nas parcelas que foram subsoladas não foram diferentes ($p<0,05$). Estes resultados são contrários aos encontrados em outras pesquisas, onde as maiores profundidades de trabalho resultam em maior emissão (REICOSKY; ARCHER, 2007; TEIXEIRA, 2007; REICOSKY; LINDSTROM, 1993).

Finalmente, no dia 28 encontrou-se que os valores do fluxo derivados do PM e PU não diferiram entre si, mas o fluxo em PU diferiu do fluxo nos demais sistemas de preparo (Tabela 12).

De acordo com estes resultados e os resultados registrados na situação com palha; a subsolagem em uma área sem perturbação não tem efeito sobre a liberação imediata de CO_2.

Nos demais dias de pesquisa não se encontraram diferenças significativas entre o fluxo derivado dos diferentes sistemas de preparo. Como observado na situação com palha sobre a superfície do solo, a tendência temporal da emissão foi de aumento do fluxo de CO_2 após as atividades de preparo e as precipitações na área, com a conseqüente diminuição depois destes eventos (Figura 14).

2.3.5 Emissão acumulada de CO_2

Através do uso do método de integração (área embaixo da curva da emissão versus o tempo) foi determinada a emissão acumulada de CO_2 para cada sistema de preparo

pesquisado, tanto na condição com palha quanto sem palha na superfície do solo no período de 44 dias de avaliação. Os resultados desta quantificação são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Emissão acumulada de CO_2 derivada de sistemas de preparo com e sem palha na superfície do solo

Sistemas de Preparo	Palha	
	Com	Sem
	----------g m^{-2}----------	
Convencional	881,60 A a	719,58 B a
Usina Iracema	583,23 A b	615,32 A ab
Mínimo	537,08 A b	433,58 A c
Controle	531,51 A b	481,62 A BC

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Independentemente da presencia ou ausência da palha na superfície do solo, a emissão acumulada foi maior no sistema PC em relação aos demais sistemas de preparo.

Nas parcelas com palha o PC apresentou emissão acumulada com valor de 881,60 g m^{-2}, valor 34% superior ao encontrado no PU (583,23 g m^{-2}) e 39% acima do achado em PM (537,08 g m^{-2}). Estes resultados indicam o efeito conjunto da palha e do preparo do solo sobre a emissão de CO_2. Resultados encontrados em outras pesquisas mostraram que sistemas de preparo que envolvem aração e gradagem geram maior impacto na emissão de CO_2 do que sistemas que utilizam escarificacão e/ou subsolagem como único método de preparação do solo (REICOSKY, 1997; DAO, 1998; ROCHETTE; ANGERS, 1999; ALVAREZ et al., 2001; AL-KAISI; YIN, 2005; LA SCALA et al., 2006; YOO; WANDER, 2006; JABRO et al., 2008). Embora não se tenham dados ao respeito da emissão derivada do uso do destruidor de soqueira (PU), o resultado encontrado nesta pesquisa difere do que poderia ser esperado, uma vez que a implementação desta eliminação mecânica conjuntamente com a subsolagem na linha e subsolagem cruzada constituem um método de preparo visualmente mais agressivo contra a estrutura do solo, que incorporaria maior quantidade de resíduos e geraria maior exposição da matéria orgânica lábil. No entanto estes resultados

sugerem que em um período de 44 dias a implementação deste sistema de preparo resultaria em menor emissão de CO_2 do que as encontradas quando executado as técnicas associadas ao preparo convencional.

A aração utilizada no PC remove e inverte as camadas inferior e superior, ocorrendo assim a fratura da estrutura do solo, porém ainda se mantém grandes torrões de solo. O contato resíduo-solo é aumentado neste processo o que facilita o acesso dos microrganismos e suas enzimas ao C destes resíduos e os fluxos de água e nutrientes até os sítios de decomposição. A gradagem, entretanto promove a ruptura dos macroagregados expondo a matéria orgânica no interior destes agregados ao ataque de microrganismos (CHAVEZ, 2008). Estes resultados indicam que a magnitude das perdas de CO_2 devido às praticas de preparo está altamente relacionada com a intensidade da perturbação do solo causada pelo preparo.

No caso dos sistemas de preparo sem palha na superfície do solo, observa-se que a tendência na emissão acumulada diferiu um pouco daquela encontrada nas parcelas com palha. Aqui, no sistema PC a emissão acumulada foi superior ($p<0,05$) da encontrada no sistema PM e TC, mas não diferiu da observada no PU (Tabela 13). Dessa forma é possivel afirmar que as diferenças na emissão entre PU e PC descritas na situação com palha foram devidas ao efeito da incorporação da palha sobre o fluxo de CO_2 e não devido ao efeito do preparo.

Quando comparada a emissão acumulada encontrada no PC com o valor do TC encontrou-se que 238 g m^{-2} de CO_2 foram emitidas à atmosfera devido às operações de preparo executadas; quantidade equivalente a 649 kg ha^{-1} de C-CO_2. Pesquisas que avaliaram o efeito da mudança na prática de colheita da cana-de-açúcar (com queima previa a colheita mecânica) sobre o estoque de C no solo, tem reportado que a colheita de cana crua resulta em um incremento anual de 0,65 Mg ha^{-1} no estoque de C do solo na camada 0-10 cm (RAZAFIMBELO et al., 2006), assim a execução do preparo convencional estaria sendo responsável pela perda do 99.7% do C seqüestrado nesta camada do solo durante um ano de adoção da colheita mecanizada. O potencial de seqüestro quando considerada a camada 0-20 cm de profundidade é de 1,2 Mg ha^{-1} ano^{-1} (GALDOS; CERRI; CERRI, 2009) de forma que o 54% do C estocado em um ano

será perdido durante a reforma do canavial em um período de 44 dias, quando o solo for preparado sob o PC.

Se considerado simplesmente o estoque de C do solo da área experimental, a emissão de CO_2 neste sistema de preparo corresponderia a uma perda de 0,68% do C acumulado até 30 cm de profundidade; isto reflete o efeito do quebramento dos agregados do solo e a conseqüente exposição do carbono lábil a comunidade microbiana ocasionada pelas operações de perturbação física vinculadas ao PC.

O teste de separação de médias (Teste Tukey – tabela 13) mostrou além que a emissão acumulada no Tratamento Controle (TC) não diferiu significativamente do valor calculado nos sistemas Preparo Mínimo (PM) e Preparo Usina Iracema (PU). Acredita-se que este comportamento poderia ser atribuído ao crescimento de plantas daninhas (apesar do controle das mesmas) na parcela correspondente ao TC, assim a respiração do solo desta parcela passou a ser também a contribuição da respiração das raízes.

Embora sem diferenças significativas o PU seria responsável pela emissão de 133,7 g m^{-2} de CO_2 do solo, valor que equivale a 364,6 kg ha^{-1} de C-CO_2 ou 56% e 30,4% do potencial de seqüestro de C na cana-de-açúcar sem queima nas camadas 0-10 e 0-20 cm respectivamente. Quando levado em consideração o estoque de C no solo da área de estudo na camada 0-30 cm, observa-se que a quantidade emitida de CO_2 como resultado deste preparo corresponde à perda de 0,38% do C acumulado no solo.

Ao comparar entre si os sistemas de preparo PC e PU encontrou-se um incremento de 104,3 g m^{-2} na emissão de CO_2 no PC em relação à PU, quantidade equivalente a 284,3 kg ha^{-1} de C-CO_2 que deixariam de ser perdidos do solo quando o preparo adotado muda de PC para PU. Assim, 44% do potencial de seqüestro anual de C do solo na camada 0-10 cm sob cana-de-açúcar sem queima deixa de ser emitido para atmosfera durante a reforma do canavial. No solo da área experimental essa diminuição na emissão se traduz em 0,30 % do estoque de C a 30 cm de profundidade.

Essa mesma comparação quando feita em relação ao PM se vê dificultada, uma vez que a emissão acumulada no PM não foi diferente ($p<0,05$) da encontrada no TC devido possivelmente a uma superestimação da emissão de CO_2 causada pelo crescimento de plantas daninhas nesta última parcela. Porém descartando esta

situação e fazendo uma comparação direta entre PC e PM observa-se que 286 g m^2 de CO_2 são emitidos a mais sob o sistema PC, o que indica um decréscimo de 0,82% no estoque de C do solo da área de estudo, ou de 65 e 100% do C estocado no solo nas camadas 0-20 e 0-10 cm de profundidade em um ano de manejo de cana-de-açúcar sem queima.

O sistema PM quando comparado com o sistema PU resulta em uma diminuição da emissão de CO_2 de 181,7 g m^2, valor equivalente a 495,6 kg ha^{-1} de C-CO_2. Se considerado o potencial de seqüestro de C no sob solo colheita mecanizada, esta quantidade corresponde a 41 e 76% do acúmulo de C em um ano de adoção sob o manejo mencionado nas camadas 0-10 e 0-20 respectivamente.

Vários estudos têm observado grande fluxo de CO_2 sob preparo convencional quando comparado com a ausência de preparo, devido presumivelmente ao estímulo do preparo sobre a atividade microbiana (REICOSKY, 1997; DAO, 1998; ROCHETTE; ANGERS, 1999; ALVAREZ et al., 2001; AL-KAISI; YIN, 2005; LA SCALA et al., 2006; YOO; WANDER, 2006; JABRO et al., 2008).

Além da influência direta que exerce o preparo do solo sobre a perda de CO_2 através da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos culturais, o revolvimento do solo afeta a emissão de GEE de forma indireta, devido ao consumo de combustível fóssil para a realização das operações agrícolas.

O conjunto de atividades que envolvem o sistema PC, de acordo com informações proporcionadas pela usina, utiliza um consumo de diesel com valor de 91,12 L ha^{-1}, valor superior ao registrado pelos demais sistemas de preparo avaliados. Considerando fator de emissão de 2,68 kg L^{-1} CO_2 – eq no diesel estima-se que no PC 244,20 kg CO_2 – eq ou 66,60 kg de C-CO_2 são emitidos para atmosfera em razão do uso da maquinaria agrícola. Quando analisados os sistemas PU e PM encontrou-se que a emissão devida as operações agrícolas neles está na ordem de 53,67 e 26,33 kg de C-CO_2, respectivamente.

Assim, a emissão total de CO_2 derivada do PC seria de 715,6 kg ha^{-1} de C-CO_2, e no PU por volta de 418,3 kg ha^{-1} de C-CO_2. Entre tanto, no sistema PM devido a não diferenciação entre este e o TC o balanço das emissões é muito baixo (48,52 kg ha^{-1} de C-CO_2), valor que não pode ser considerado como real devido à superestimação da

respiração do solo no tratamento controle causada pelo crescimento de plantas daninhas nessa parcela.

De acordo com estes resultados a intensidade do preparo deve ser minimizada com o objetivo de reduzir a emissão de CO_2 do solo para se obter uma condição mais sustentável. Deve nesse sentido ser considerados sistemas agrícolas que incluem reduzida mobilização do solo, como o plantio direto e preparo minimo, os quais são referenciados como importantes em diminuir o consumo de combustível fóssil pela ausência ou diminuição das operações de lavração e gradagem. É de grande importância a seleção de práticas de manejo sustentáveis que permitam aumentar o seqüestro de carbono, melhorar a qualidade do solo e ajudar a minimizar a emissão de CO_2 dos solos agrícolas.

2.3.6 Comparação da emissão de CO_2 entre sistemas de preparo com palha e sem palha na superfície do solo

Os resíduos fibrosos da cana-de-açúcar como os topos, as folhas e a palha contém mais de cinqüenta por cento da energia produzida fotossinteticamente e armazenada em fibras celulósicas na biomassa da cana-de-açúcar. Por isto, apesar de o bagaço ser a matéria-prima principal, os topos, folhas e palha podem ser incluídos juntamente em sistemas de cogeração para o setor sucro-alcooleiro (BEEHARRY, 2000). Este tipo de informações tem despertado um crescente interesse da utilização destes resíduos para a geração de energia. Assim, foi avaliado o efeito da deposição e a possível retirada da palha da cana-de-açúcar com fins energéticos sobre a emissão de CO_2, quando o solo é submetido às operações de preparo no momento da reforma do canavial.

As respectivas comparações entre sistemas de preparo com e sem palha sobre o solo mostram algumas diferenças ($p<0,05$) na evolução do fluxo de CO_2 ao longo do período de avaliação nos sistemas PC e PU.

O processo de separação de médias (Teste Tukey, Tabela 14) indica que no 13º dia avaliado o fluxo de CO_2 derivado do sistema Preparo Convencional com palha foi superior ($p<0,05$) do fluxo observado no PC sem palha, isto devido possivelmente a

presença de eventos chuvosos nos dias anteriores, uma vez que a palha contribui com a conservação da umidade do solo, a qual apresentou correlação positiva com a emissão de CO_2 neste sistema de preparo.

Tabela 14 - Médias de emissão de CO_2 derivada dos sistemas preparo convencional (PC) com e sem palha na superfície do solo

Dias avaliados	PC	
	Com palha	Sem palha
	----------g m^{-2} h^{-1}----------	
1	0,57 A	0,48 A
2	0,36 A	0,30 A
3	0,45 A	0,38 A
4	0,53 A	0,41 A
5	0,17 A	0,28 A
6	0,75 A	0,76 A
7	1,13 A	0,88 A
8	0,79 A	0,53 A
9	0,97 A	0,91 A
10	0,98 A	0,70 A
12	1,41 A	1,11 A
13	1,89 A	1,15 B
15	1,05 A	1,64 A
16	1,14 A	0,80 A
19	1,52 A	1,05 A
20	1,25 A	0,85 A
21	0,52 A	0,34 A
22	0,90 A	0,57 A
24	0,88 A	0,56 A
27	0,80 A	0,67 A
28	0,65 A	0,55 A
29	0,47 A	0,58 A
30	0,44 A	0,60 A
31	0,45 A	0,50 A
35	0,79 A	0,59 A
37	0,76 A	0,51 A
40	0,93 A	0,72 A
42	0,61 A	0,72 A
44	0,60 A	0,62 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

No preparo próprio da usina Iracema foi encontrada diferença significativa somente no 28º dia de estudo (Tabela 15), onde a emissão derivada do sistema sem palha na superfície do solo foi maior daquela encontrada no sistema com palha. A execução das

operações de subsolagem cruzada durante este dia, em ausência da palha, poderia ter gerado maior espaço poroso, em decorrência o fluxo de CO_2 contido no mesmo foi liberado à atmosfera.

Tabela 15 - Médias de emissão de CO_2 derivada dos sistemas preparo usina Iracema (PU) com e sem palha na superfície do solo

Dias avaliados	PU	
	Com palha	Sem palha
	----------g m^{-2} h^{-1}----------	
1	0,64 A	0,43 A
2	0,45 A	0,33 A
3	0,40 A	0,32 A
4	0,44 A	0,29 A
5	0,29 A	0,27 A
6	0,64 A	0,39 A
7	1,37 A	0,88 A
8	0,48 A	0,31 A
9	0,42 A	0,39 A
10	0,40 A	0,36 A
12	0,45 A	0,43 A
13	0,48 A	0,33 A
15	0,36 A	0,29 A
16	0,54 A	0,44 A
19	0,84 A	1,09 A
20	0,69 A	0,61 A
21	0,59 A	0,26 A
22	0,65 A	0,39 A
24	0,60 A	0,51 A
27	0,51 A	0,59 A
28	0,90 B	1,66 A
29	0,22 A	0,78 A
30	0,42 A	0,70 A
31	0,35 A	0,53 A
35	0,72 A	0,86 A
37	0,66 A	0,77 A
40	0,73 A	0,88 A
42	0,44 A	0,71 A
44	0,50 A	0,57 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Nos sistemas Preparo Mínimo e Tratamento Controle não foram encontradas diferenças ($p<0,05$) na emissão de CO_2 derivada dos dois fatores de estudo (com e sem palha) em nenhum dos dias avaliados (Tabela 16).

Tabela 16 - Médias de emissão de CO_2 derivada dos sistemas preparo mínimo (PM) e tratamento controle (TC) com e sem palha na superfície do solo

Dias avaliados	PM		TC	
	Com palha	Sem palha	Com palha	Sem palha
	----------g m^{-2} h^{-1}--------		----------g m^{-2} h^{-1}--------	
1	0,48 A	0,30 A	0,33 A	0,30 A
2	0,40 A	0,36 A	0,30 A	0,36 A
3	0,36 A	0,30 A	0,25 A	0,30 A
4	0,36 A	0,31 A	0,23 A	0,31 A
5	0,35 A	0,24 A	0,18 A	0,24 A
6	0,49 A	0,36 A	0,42 A	0,36 A
7	0,53 A	0,39 A	0,47 A	0,39 A
8	0,51 A	0,21 A	0,73 A	0,21 A
9	0,63 A	0,46 A	0,66 A	0,46 A
10	0,59 A	0,40 A	0,58 A	0,40 A
12	0,73 A	0,37 A	0,77 A	0,37 A
13	0,95 A	0,45 A	0,87 A	0,45 A
15	0,55 A	0,53 A	0,57 A	0,53 A
16	0,77 A	0,37 A	0,60 A	0,37 A
19	0,58 A	0,33 A	0,45 A	0,33 A
20	0,65 A	0,62 A	0,60 A	0,62 A
21	0,47 A	0,51 A	0,47 A	0,51 A
22	0,44 A	0,38 A	0,39 A	0,38 A
24	0,45 A	0,42 A	0,41 A	0,42 A
27	0,48 A	0,48 A	0,41 A	0,48 A
28	0,76 A	1,09 A	0,37 A	1,09 A
29	0,38 A	0,22 A	0,27 A	0,22 A
30	0,27 A	0,22 A	0,30 A	0,22 A
31	0,21 A	0,20 A	0,33 A	0,20 A
35	0,70 A	0,52 A	0,79 A	0,52 A
37	0,40 A	0,54 A	0,56 A	0,54 A
40	0,69 A	0,54 A	0,82 A	0,54 A
42	0,26 A	0,42 A	0,38 A	0,42 A
44	0,35 A	0,44 A	0,60 A	0,44 A

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre se pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Entretanto ao analisar a emissão acumulada ao longo do período da pesquisa observou-se que no sistema PC este valor foi superior quando a palha é deixada na superfície do solo (Figura 15). Um incremento de 162,01 g m^2 na emissão derivada do sistema sem palha a com palha foi encontrado neste sistema de preparo. Este aumento na emissão reflete o efeito da incorporação e mistura dos resíduos culturais como resultado do tipo de preparo; uma vez que o carbono lábil exposto pelo quebramento dos agregados do solo deve ser o mesmo, considerando que foram executadas as mesmas operações de preparo nas duas situações.

Tal incremento adicional no total da emissão de CO_2 no PC sem palha a PC com palha é equivalente a 441,8 kg ha^{-1} de C-CO_2. Considerando que a concentração de carbono na cultura da cana-de-açúcar é aproximadamente 40% (BALL-COELHO et al., 1993; DE OLIVEIRA et al., 1999), e que a quantidade de resíduos na superfície do solo é aproximadamente 14 Mg ha^{-1} (5,6 Mg ha^{-1} de C), pode se dizer que neste corto período de tempo (44 dias) o 7,8% do total de C associado a resíduos da cana-de-açúcar foi naturalmente removido do sistema na forma de CO_2 emitido para atmosfera.

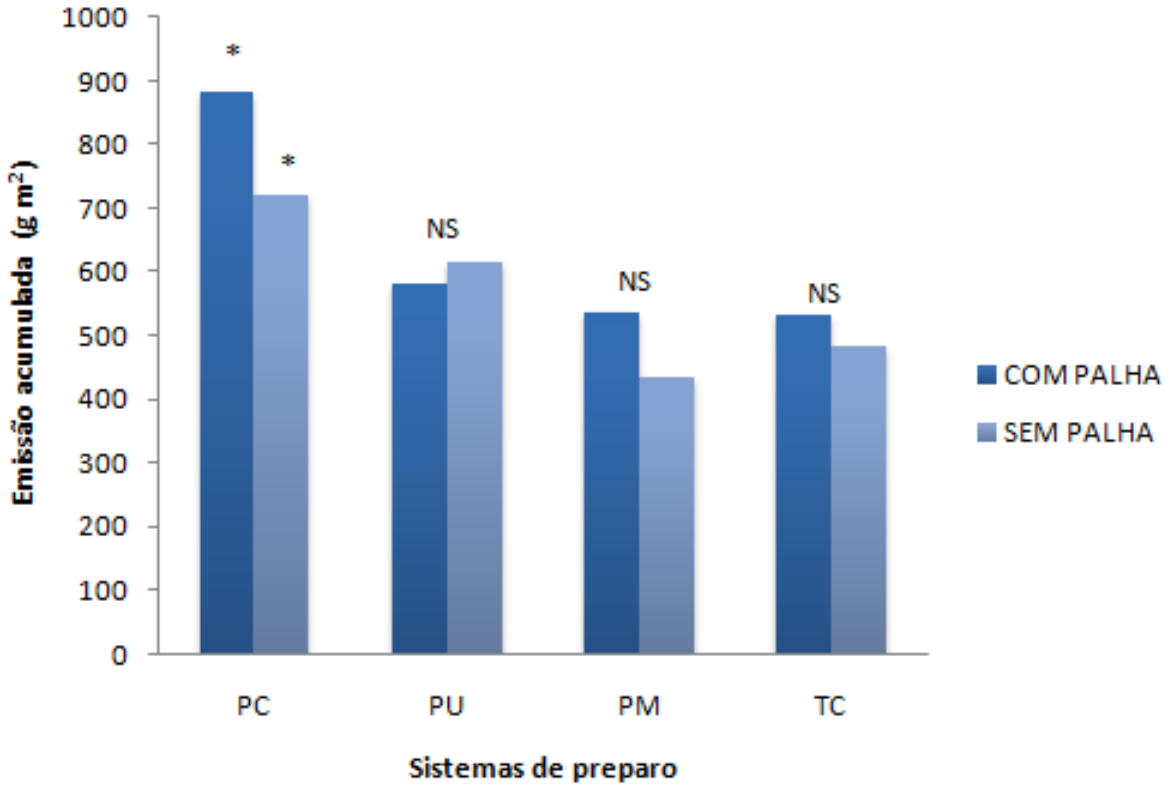

Figura 15 - Emissão acumulada de CO2 derivada de sistemas de preparo com e sem palha na superfície do solo. As siglas PC – Preparo convencional; PU – Preparo usina Iracema; PM – Preparo mínimo e TC – Tratamento controle. O asterisco indica diferença significativa ao nível de 5% de significância. (NS) Diferença não significativa ao nível de 5% de significância

A incorporação dos resíduos geralmente reduz o carbono orgânico do solo (COS) uma vez que aumenta o contacto entre os resíduos e os microorganismos no solo (CHIVENGE et al., 2007), pelo tanto acelera a decomposição e perda de C. Chan et al. (2002) observaram que o preparo teve um efeito mais prejudicial sobre o COS do que a queima. No entanto, em um experimento de incubação não foram observadas diferenças significativas na mineralização de C proveniente de palha de aveia entre tratamentos com e sem incorporação dos resíduos (GIACOMINI et al., 2008).

Em concordância com estes resultados se a palha da cana-de-açúcar fosse retirada do campo e levada para o setor industrial com fins energéticos a emissão de CO_2 derivada do solo quando aplicado preparo convencional seria menor, desta forma diminuiriam as perdas de C na fase agrícola em tanto são supridas as necessidades de

calor e eletricidade para o processo de transformação da cana-de-açúcar, minimizando o uso de combustíveis de origem fóssil.

No entanto, não deve deixar de se considerar a correlação positiva existente entre a manutenção dos resíduos culturais e o incremento do conteúdo de CO no solo (GALDOS et al., 2009), assim embora as emissões durante a reforma do canavial sejam superiores devido a incorporação dos mesmos, isto será mitigado através da adição de C nos seis anos posteriores a próxima renovação. Porém estas afirmações não deixam de ser hipotéticas, uma série de estudos ao longo prazo que avaliem as características físico-químicas do solo durante o ciclo produtivo da cultura nas duas situações (com e sem palha) devem ser realizados, além de estimar o custo econômico e ambiental que implicaria a recuperação e armazenamento da palha, pontas e folhas.

No caso dos sistemas PU e PM encontrou-se que a palha não teve um efeito marcado sobre o fluxo de CO_2; já que a emissão acumulada na situação com e sem palha não apresentaram diferenças significativas. O grau de incorporação dos resíduos nestes dois sistemas de preparo foi possivelmente menor do resultante no PC, condição que associada a alta relação C:N encontrada na palha da cana-de-açúcar (CORREA, 2003) pode ter influenciado neste resultado, uma vez que o processo de degradação do material orgânico é muito mais lento, conseqüentemente a contribuição da palha sobre o fluxo de CO_2 no período de 44 dias foi menor.

Assim, o tempo de avaliação nesta pesquisa não foi suficiente para observar a influência da incorporação dos resíduos culturais nestes sistemas de preparo sobre o fluxo de CO_2.

Quanto ao tratamento controle, o resultado diferiu do resultado encontrado por Al-Kaisi e Yin (2005) onde a emissão de CO_2 no TC sem resíduos culturais foi maior da encontrada no TC com resíduos, devido a que a palha serve como barreira física para a liberação de CO_2 do solo para a atmosfera.

3 CONCLUSÕES

As diferenças no fluxo de CO_2 entre os sistemas de preparo avaliados dependem do dia de observação, sendo que estas são influenciadas pela realização de operações de preparo e a ocorrência de eventos chuvosos.

A temperatura do solo não foi um fator controlador da emissão de CO_2 derivada dos sistemas de preparo com palha; a incorporação dos resíduos culturais poderia ter influenciado neste comportamento ao funcionar como regulador térmico. A umidade entretanto apresentou correlação positiva com o fluxo de CO_2 proveniente do preparo convencional, sugerindo que neste sistema de preparo incrementos na umidade favorecem os processos de emissão.

Na condição de solo descoberto foi encontrada correlação positiva entre a temperatura do solo e o fluxo de CO_2 resultante do Preparo Mínimo (PM), Preparo Usina Iracema (PU), e Tratamento Controle (TC), sugerindo que um incremento na temperatura do solo acelera a oxidação, a decomposição da matéria orgânica, a atividade microbiana e em decorrência incrementa a emissão de CO_2. A sensibilidade da emissão em função da temperatura foi maior no sistema PU, onde a perturbação do solo foi maior.

A execução das operações de preparo no sistema PC causaram emissão de CO_2 a atmosfera com valor de 238 g m^{-2} em um período de 44 dias de avaliação. Este valor equivale a 649 kg ha^{-1} de C-CO_2; assim o 99.7% e 54% do C estocado na camada 0-10 cm e o 54% do C estocado na camada 0-20 cm em um ano de a adoção de colheita mecanizada da cana-de-açúcar estaria sendo perdido.

Levando em consideração o estoque de C da área experimental, encontrou-se que o preparo convencional causa a perda de 0,68% do C estocado na profundidade de 30 cm.

O sistema PU causou emissão de 133,7 g m^{-2} de CO_2 do solo ou 364,6 kg ha^{-1} de C-CO_2, quantidade que sugere perda de 56% e 30,4% do potencial de seqüestro anual de C na cana-de-açúcar sem queima nas camadas 0-10 e 0-20 cm respectivamente. Esta emissão seria responsável pela perda de 0,38% do C acumulado no solo da área

experimental na camada 0-30 cm, ou seja, aproximadamente duas vezes menos do que o PC.

Devido ao crescimento de plantas daninhas no TC não foi possível estimar o CO_2 emitido para a atmosfera como resultado da implementação do preparo mínimo.

A deposição e posterior incorporação da palhada no sistema PC gerou um incremento de 162,01 g m^2 na emissão de CO_2, o qual é equivalente a 441,8 kg ha^{-1} de C-CO_2 ou 7,8% do total de C associado aos resíduos da cana-de-açúcar.

Nos sistemas PU e PM a palha não teve um efeito marcado sobre o fluxo de CO_2. O grau de incorporação dos resíduos nestes dois sistemas de preparo foi possivelmente menor do resultante no PC, condição que associada a alta relação C:N encontrada na palha da cana-de-açúcar pode ter influenciado neste resultado. Assim, o tempo de 44 dias de avaliação nesta pesquisa não foi suficiente para observar a influência da incorporação dos resíduos culturais nestes sistemas de preparo sobre o fluxo de CO_2.

REFERÊNCIAS

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.; MARCHETI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar,** São Paulo, v. 67, p. 23-25, 1993.

AL-KAISI, M.M.; YIN, X.H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality,** Madison, v. 34, n. 2, p. 437-445, Mar./Apr. 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 Biology** Montrouge, v. 37, n. 3, p. 161-166, July/Sept. 2001.

ALVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ , C.; LÓPEZ, M.V.; ARRUE, J.L. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 96, n. 1/2, p. 331-341, Oct. 2007.

ASSIS, R.; LANCAS, K. Agregação de ume nitossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 58-66, fev. 2010.

BALLCOELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 5, p. 1004-1008, 1993.

BARBER, S.A. Corn residue management and soil organic-matter. **Agronomy Journal,** Madison, v. 71, n. 4, p. 625-627, 1979.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance**. Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 95-104, 2000.

BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M.C.S.; FELLER, C.; CERRI, C.E.P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J. Gases do efeito estufa e estoque de carbono nos solos: inventário do Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia,** Brasília, v. 22, n. 1, p. 235-246, 2005.

BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. **Australian Journal of Soil Research,** Melbourne, v. 36, n. 6, p. 873-881, 1998.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia.** Brasília: MAPA, Secretaria de Produção e 2007. 139 p.

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

BUYANOVSKY, G.A.; WAGNER, G.H. Annual cycles of carbon-dioxide level in soil air. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 47, n. 6, p. 1139-1145, 1983.

CALDERON, F. J.; JACKSON, L. E.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. **Soil Biology & Biochemistry,** Oxford, v. 32, n. 11-12, p. 1547-1559, 2000.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Considerações para manejo do solo.** 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/C7/Index.htm>. Acesso em: 14 jun. 2010.

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

CAMPOS, C.D. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono.** 2003. 103 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P.; FELLER, C. Carbon cycling anal sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management,** Oxford, v. 20, p. 248-254, 2004.

CHAN, K.; HEENAN, D.P.; OATES, A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management**. Soil and Tillage Research,** Amsterdam, v. 63, n. 3/4, p. 133-139, 2002.

CHAVEZ, O.L.F. **Emissões de CO_2 do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo vermelho do Rio Grande do Sul.** 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CHENG-FANG, L.; ZHI-KUI, K.; JIN-HUA, Y.; MING-Li.; CAI.; JIN-PING, W.; COU-Gui, CAO. Soil CO2 fluxes from direct seeding rice fields under two tillage practices in central China. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 44, n. 23, p. 2696-2704, July 2010.

CHIVENGE, P.P.; MURWIRA, H.H.; GILLER, K.E.; MAPFUMO, P.; SIX, J. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 328-337, 2007.

CONANT, R. T.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; WAN, A.; WILLIAMS, S. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: A synthesis. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 95, p. 1-10, 2007.

COSTA, F.; ZANATTA, J.; BAYER, C. Fundamentos da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 545-555.

DAO, T.H. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Paleustoll. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 62, n. 1, p. 250-256, 1998.

DAVIDSON, E.A.; VERCHOT, L.V.; CATTANIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry,** Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 53-69, 2000.

DE ALMEIDA, L. C.; STINGEL, E.; DE BENI, A, E.. Monitoramento e controle do bicudo da cana-de-açúcar,*Sphenophorus Levis.* **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, n. 34, p. 29-30, mar. 2009.

DE CARVALHO, I.M. The sugar cane agro-industry: its contribution to reducing CO_2 emissions in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v 3, n. 2, p. 77-80, 1992.

DE OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Field decomposition and release of sugar cane trash nutrients. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil.** Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

DIAS, S.A.; ROSSETTO, R. **Preparo do solo.** Agencia de informação EMBRAPA: cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 02 nov. 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de analise de solo.** Rio de Janeiro, 1979. 330 p.

_____. **Impacto ambiental da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.cana.cnpm.embrapa.br/>. Acesso em: 18 fev. 2009.

_____. **Emissões de gases de efeito estufa (GEE´s) na produção e conversão da cana-de-açúcar em etanol**. Especial EMBRAPA, v. 29, n. 4. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br>. Acesso em: 02 maio 2010.

FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ags/AGSe/7mo/71/chap3.pdf>. Acesso em: 09 maio 2010.

FOLLETT, R.F.; SHAFER, S.R.; FRANZLUEBBERS, A.J. Research and implementation needs to mitigate greenhouse gas emissions from agriculture in the USA. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 159-166, 2005.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Tillage-induced seasonal-changes in soil physical-properties affecting soil CO_2 evolution under intensive cropping. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 41-60, 1995.

GALDOS, V.M.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma,** Amsterdam, v. 153, n. 3/4, p. 347-352, 2009.

GIACOMINI, S.; AITA, C.; CARVALHO, E.C.M.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 32, n. esp., p. 2661-2668, 2008.

GODOI, A.F.L.; RAVINDRA, K.; GODOI, R.H.M.; ANDRADE, S.J.; SILVA, M.S.; VAN VAECK, L.; VAN GRIEKEN, R. Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from sugar cane burning. **Journal of Chromatography.** A, Amsterdam, v. 1027, n. 1/2, p. 49-53, 2004.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy,** Guildford, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.

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,** Madison, v. 60, n. 3, p. 740-747, May/June 1996.

HILLEL, D. **Environmental soil physics.** San Diego: Academic Press, 1998. 771 p.

HOUGHTON, J.; CALLANDER, B.A.; VARNEY, S.K. **Climate change 1992:** the supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 200 p.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Cambio climático 2001:** Mitigación. Parte de la contribución del Grupo de trabajo III al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Geneva, 2001. p. 30-36.

_____. **Climate change 2007:** synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2007. 104 p.

JABRO, J.D.; SAINJU, U.; STEVENS, W.B.; EVANS, R.G. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops**. Journal of Environmental Management,** New York, v. 88, n. 4, p. 1478-1484, 2008.

JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J.; STEENWERTH, K.L.; SCOW, K.M.; ROLSTON, D.E Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma,** Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 305-317, June 2003.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 57, n. 1, p. 200-210, 1993.

KESSAVALOU, A.; DORAN, J.W.; MOSIER, A.R.; DRIJBER, R.A. Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheat-fallow cropping system. **Journal of Environmental Quality,** Madison, v. 27, n. 5, p. 1105-1116, 1998.

KIM, D.G.; MU, S.; KANG, S.; LEE, D. Factors controlling soil CO_2 effluxes and the effects of rewetting on effluxes in adjacent deciduous, coniferous, and mixed forests in Korea. **Soil Biology & Biochemistry,** Oxford, v. 42, n. 4, p. 576-585, Apr. 2010.

KIRCHHOFF, V.; MARINHO, E.V.A.; DIAS, P.L.S.; PEREIRA, E.B.; CALHEIROS, R.; ANDRÉ, R.; VOLPE, C. Enhancements of co and o3 from burnings in sugar-cane fields. **Journal of Atmospheric Chemistry,** Dordrecht, v. 12, n. 1, p. 87-102, 1991.

LA SCALA Jr., N.; BOLONHEZI, J.; PEREIRA, G.T. Short-term soil CO_2 emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 91, n. 1/2, p. 244-248, Dec. 2006

LA SCALA Jr., N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 62, n. 3/4, p. 163-166, Nov. 2001.

LA SCALA Jr., N.; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CAMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO_2 efflux following rotary tillage of a tropical soil. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 222-225, 2005.

LAL, R.; FAUSEY, N.R.; ECKERT, D.J. Land use and soil management effects on emissions of radioactively active gases from tow soils in Ohio. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 41-57.

LAUREN, J.; DUXBURY, J.M. Methan emissions from flooded rice emended with a green manure. In: HARPER. L.A.; MOSIER A.R.; DUXBURY, J.M; ROLSTON, D.E. (Ed.). **Agricultural ecosystems effects on trace gases and global climate change.** Madison: SSSA; ASA; CSSA, 1993. p. 183–192. (ASA. Special Publication, 55).

LOPEZ-GARRIDO, R.; DIAZ-ESPEJO, A.; MADEJON, E.; MURILLO, J. A.; MORENO, F. Carbon losses by tillage under semi-arid Mediterranean rainfed agriculture (SW Spain). **Spanish Journal of Agricultural Research,** Madrid, v. 7, n. 3, p. 706-716, 2009.

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

Manzatto. C.V.; ASSAD, E.D.; MANSILLA, J.F.B.; MARSCHHAUSEN, S.E.P. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açucar**. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 1 Mapa, cor.

MOSIER, A.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous-oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature,** London, v. 350, n. 6316, p. 330-332, 1991.

OMONODE, R.A.; VYN, T.J.; SMITH, D.R.; HEGYMEGI, P.; GA´I, A. .Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 95, p. 182-195, 2007.

OTTEN, W.; WATTS, C. W.; LONGSTAFF, D. Method to quantify short-term dynamics in carbon dioxide emission following controlled soil deformation. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 64, n. 5, p. 1740-1748, 2000.

PANOSSO, A.R.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, J.; LA SCALA Jr., N. Spatial and temporal variability of soil CO_2 emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275-282, 2009.

PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P.; PAUL, E.A., 1997. Management controls on soil carbon. In: PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; COLE, C.V. **Soil organic matter in**

temperate agroecosystems: long-term experiments in North America. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 15–49.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN, N.L. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 41 p.

PRIOR, S.A.; REICOSKY, D.C.; REEVES, D.W.; RUNION, G.B.; RAPER, R.L. Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO_2 and water loss from a loamy sand soil in Alabama. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 54, n. 3/4, p. 197-199, Apr. 2000.

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

RAZAFIMBELO, T.; , BERNARD BARTHE'S, B.; LARRE'-LARROUY, M.C.; LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment,** Amsterdam, v. 115, n. 1/4, p. 285-289, 2006.

REICOSKY, D.C.; ARCHER, D.W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 109-121, May 2007.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon-dioxide flux from soil. **Agronomy Journal,** Madison, v. 85, n. 6, p. 1237-1243, Nov./Dec. 1993.

_____. Impact of fall tillage and shortterm carbon dioxide flux. In: LAL, R., KIMBLE, J., LEVINE, E., STEWART, B.A. (Ed.). **Soils and global change.** Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 177–187.

REICOSKY, D.C.; DUGAS, W.A.; TORBERT, H.A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 41, n. 1/2, p. 105-118, Mar. 1997.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J.; SCHUMACHER, T.E.; LOBB, D.E.; MALO, D.D. Tillage-induced CO_2 loss across an eroded landscape. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 183-194, 2005.

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

RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO_2 efflux: a modified model. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1/2, p. 21-33, Jan. 2005.

ROBERTS, W.P.; CHAN, K.Y. Tillage-induced increases in carbon-dioxide loss from soil. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 17, n. 1/2, p. 143-151, Aug. 1990.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A. Soil surface carbon dioxide fluxes induced by spring, summer, and fall moldboard plowing in a sandy loam. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 63, n. 3, p. 621-628, May/June 1999.

SALTON, J.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistema de preparo, temperatura e umidade 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.

SATHRE, R.; GUSTAVSSON, L. Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change. **Applied Energy,** London, v. 86, n. 2, p. 251-257, 2009.

SCHJØNNING, P.; RASMUSSEN, K. Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. **Soil and Tillage Research,** Amsterdam, v. 57, n. 1/2, p. 69-82, 2000.

SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R.A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D.; YU, T. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science,** Washington, v. 319, n. 5867, p. 1238-1240, Feb. 2008.

SMITH, K.A.; BALLA, 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**, Oxford, v. 54, p. 779-791, Dec. 2003.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal** Madison, v. 63, n. 5, p. 1350-1358, Sept./Oct. 1999.

SPAROVEK, G.; ALLEONY, L.R.F.; PEREIRA, J.C.; ROSSETO, R. Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool Subprodutos,** Piracicaba, v. 15, p. 14-17, 1997.

SUGARCANECROPS. Disponível em: <http://www.sugarcanecrops.com/p/introduction/>. Acesso em: 31 ago. 2009.

TEIXEIRA, L.G. **Emissão de CO_2 de um latossolo vermelho após preparo mecânico**. 2007. 98 p. Trabalho (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Escola “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

TRIVELIN, P.C.O.; SIMOES, J.C.R.; VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia- 15N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 89-99, 1996.

UNIÃO DE INDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 09 fev. 2009.

USSIRI, D.A.N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2009.

VASCONCELOS, A.C.M. de. **Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar como indicativo para subsolagem no preparo de solo e no cultivo de soqueiras**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/raiz/index.htm>. Acesso em: 14 jun. 2010.

VANZOLINI, S.S.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

YOO, G.; WANDER, M.M. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 70, n. 2, p. 651-659, 2006.

YOUNG, I.M.; RITZ, K. Tillage, habitat space and function of soil microbes**. Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 53, n. 3/4, p. 201-213, 2000.

WIANT Jr., H.V. Influence of temperature on the rate of soil respiration. **Journal of Forestry**, Washington, v. 65, p. 489–490, 1967.

ZHANG, J. B.*;* SONG, C. C.; WANG, S. M. Short-term dynamics of carbon and nitrogen after tillage in a freshwater marsh of northeast China. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 149-157, 2008.

ZUCUNI, P.L. **Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do rio grande do sul**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo