

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADA À
ESCARIFICAÇÃO EM LATOSSOLO E EM ARGISSOLO**

Luma Castro de Souza

Engenheira Agrônoma

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADA À
ESCARIFICAÇÃO EM LATOSSOLO E EM ARGISSOLO**

Luma Castro de Souza

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Coorientador: Prof. Dr. Newton La Scala Junior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2017

S729e Souza, Luma Castro de
Emissão de CO₂ do solo associada à escarificação em Latossolo e em Argissolo / Luma Castro de Souza. – – Jaboticabal, 2017
iii, 77 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: Adolfo Valente Marcelo, Maria Helena Moraes Spinelli, Dilermando Perecin, José Eduardo Corá
Bibliografia

1. Carbono. 2. Distribuição de poros. 3. Perda de carbono. 4. Temperatura do solo. 5. Umidade do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:543.272.6

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADA À ESCARIFICAÇÃO EM LATOSSOLO
E EM ARGISSOLO

AUTORA: LUMA CASTRO DE SOUZA

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

COORIENTADOR: NEWTON LA SCALA JUNIOR

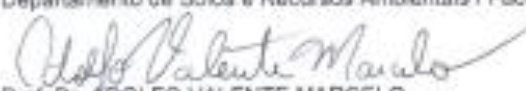
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI (Participação por Videoconferência)
Departamento de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu, SP



Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP / São José do Rio Preto, SP



Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO GORA
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. DILERMANDO PERECIN
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de março de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUMA CASTRO DE SOUZA – Filha de Antônio Juarês Oliveira de Souza e Maria de Nazaré Oliveira de Castro, nasceu em Abaetetuba, Pará, no dia 14 de setembro de 1987. Em março de 2007, ingressou no Curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, no Estado do Pará. De agosto a dezembro de 2009, foi bolsista UFRA/REUNI e de agosto de 2010 a julho de 2011, foi bolsista de iniciação científica do CNPq pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Câmpus de Capitão Poço-Pará. Realizou, de agosto de 2011 a agosto de 2013, o Curso de Mestrado em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Câmpus de Belém, no Pará, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Em agosto de 2013, ingressou no curso de Doutorado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se, fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, a em dias frios em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, a em conformidade viver”.

Martin Luther King

Ofereço a minha família, ao meu esposo, amigos, colegas de trabalho e orientadora, pelo apoio e força que foram fundamentais para eu seguir em frente e não desistir. Sem eles, nada disso seria possível.

Ofereço

Dedico a Deus por sempre estar a meu lado, dando força para eu não desistir nos momentos de desânimo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Virgem de Nazaré, por estar sempre ao meu lado, abençoando-me e dando força nos momentos de dificuldade. Por terem sido meu alicerce nas horas de fraqueza e desânimo, dando-me coragem e força para nunca desistir de meus sonhos, principalmente nas horas de desânimo.

A minha Mãe Maria de Nazaré e ao meu Pai Antônio Juarês, que sempre me ensinaram a respeitar as pessoas e principalmente a ser humilde. Ensinaram para mim e meus irmãos que tudo acontece no tempo de Deus e que devemos apenas confiar nele. Obrigada pela educação, amor, incentivo e apoio incondicional em todas as minhas decisões e escolhas, principalmente em relação a minha vida acadêmica. E por me ensinarem que a humildade é a melhor virtude do ser humano.

A minha irmã (Leane Castro), irmão (Leandro Castro), pela força e confiança de que um dia eu conseguiria. Ao meu esposo (Antônio Alexandrino), que sempre esteve comigo e que soube entender minha ausência durante esse tempo em Jaboticabal. Obrigada por ter-me apoiado desde o Ensino Médio, e por sempre ter-me ajudado no que fosse necessário para minha formação. E principalmente por ter entendido minha ausência em várias datas especiais e no dia a dia. Vocês foram o motivo para eu continuar e nunca desistir. Quando os dias tristes apareciam, eram vocês que me falavam palavras de incentivo e que sempre diziam “aguenta que dias melhores virão”. Vocês fizeram meus dias serem suportáveis em Jaboticabal, pois a saudade aumentava a cada dia. Sou eternamente grata a minha família. Amo vocês! Muito Obrigada!

À CAPES, pelo auxílio e apoio concedido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo nº 2014/14490-2, pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

À Usina São Martinho, por ter permitido a realização do experimento dentro de suas dependências e a mão de obra que nos auxiliou durante a amostragem do solo.

À Professora Dra. Carolina Fernandes, orientadora, agradeço o apoio, a partilha do saber e as contribuições para a realização do trabalho. Obrigada por estimular meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica. Obrigada por ter-

me ensinado a ser uma pessoa melhor, por ter-me ajudado e compartilhado seu conhecimento, que foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao meu coorientador, Dr. Newton La Scala Júnior, pelos ensinamentos, pelas contribuições para a realização da pesquisa. Obrigada por me receber sempre bem nos momentos em que fui ao seu auxílio. Muito obrigada!

Agradeço aos docentes da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, pelos ensinamentos compartilhados nas disciplinas de que tive a honra de participar. Muito Obrigada!

Aos amigos Nilvan, Carlos, Deise e Daniel, pela amizade e por terem tornado meus dias melhores em Jaboticabal. Ao grupo GPFiS, pelo companheirismo e amizade. Muito Obrigada! Foi bom poder contar com o apoio de vocês!

Aos meus amigos Risely, Gilmar, Mara, Leonardo, Gerusa, Edimar, Esmeralda e Priscila, que me ajudaram nos momentos de dificuldade e compartilharam comigo momentos alegres. Muito obrigada pela amizade! Ao Daniel Teixeira, por juntamente com a Mara ter tirado algumas dúvidas que surgiam! Aos professores Cândido Neto e Ítalo Albério pelo incentivo e por terem acreditado no meu potencial! Muito obrigada!

Agradeço em especial à Mara, que me ensinou e tirou minhas dúvidas ao longo de minha jornada na fase de análise de dados, bem como pelos conselhos e contribuições, que foram muito importantes para que eu pudesse melhorar minha tese. MUITÍSSIMO obrigada por tudo que você me ensinou! Além disso, é uma amiga que tive o prazer de ter em Jaboticabal e que me aconselhava e que me ajudou com palavras de incentivo. Muito obrigada!

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos e de Exatas, pela amizade, pela disponibilidade, simpatia e gentileza. Obrigada!

Finalmente, gostaria de agradecer à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, por abrir as portas para que eu pudesse realizar o Doutorado, proporcionando-me a busca de conhecimento técnico e científico.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização deste sonho, estimulando-me a buscar o conhecimento.

Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO –.....	ii
ABSTRACT -.....	iii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
Introdução.....	1
Objetivo Geral	4
Objetivos Específicos	4
Revisão de Literatura.....	4
Emissão de CO ₂ do solo na agricultura.....	4
Efeito da escarificação na emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo	6
Emissão de CO ₂ e relação com atributos físicos do solo	10
Referências.....	13
CAPÍTULO 2 – Variabilidade temporal da emissão de CO ₂ após escarificação para plântio de cana-de-açúcar	23
Resumo -	23
Introdução.....	24
Material e Métodos	26
Resultados e Discussão	32
Conclusões.....	42
Referências.....	42
CAPÍTULO 3 - Emissão de CO ₂ associada à porosidade do solo após reforma do canavial em Latossolo e Argissolo	49
Resumo -	49
Introdução.....	50
Material e Métodos	52
Resultados e Discussão	57
Conclusões.....	71
Referências.....	72

EMIÇÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADA À ESCARIFICAÇÃO EM LATOSSOLO E EM ARGISSOLO

RESUMO – A operação de escarificação altera a estrutura do solo, afetando a dinâmica da emissão de CO₂ do solo em curto período de tempo. Assim, com este estudo, objetivou-se: i - investigar a variação temporal da emissão de CO₂ do solo após escarificação para o plantio da cana-de-açúcar em Latossolo e em Argissolo; ii - caracterizar a emissão de CO₂, associada à distribuição de poros, em Latossolo e em Argissolo, submetidos à escarificação na linha de plantio e escarificação em área total para o plantio da cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas grandes pareadas. Os tratamentos utilizados consistiram na escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo, localizados nos municípios de Guariba e Monte Alto, respectivamente. Para atender ao primeiro objetivo, avaliaram-se a emissão de CO₂, a temperatura do solo (T_{solo}) e a umidade do solo (U_{solo}) ao longo de 12 dias no Latossolo e em 11 dias no Argissolo, na camada de 0-0,10 m de profundidade. No Latossolo, não foi observado correlação entre a emissão de CO₂, tanto com a U_{solo} como para T_{solo} . No Argissolo, a emissão de CO₂ foi correlacionada à U_{solo} , tanto no solo sob ELP ($R^2 = 0,86$) quanto no solo sob EAT ($R^2 = 0,58$). As emissões totais de CO₂ no período de estudo foram maiores no Latossolo, no solo sob escarificação em linha de plantio e em área total (ELP = 1,042.6 kg CO₂ ha⁻¹ e EAT = 1,336.3 kg CO₂ ha⁻¹ de CO₂), e menores no Argissolo (ELP = 659,1 kg CO₂ ha⁻¹ e EAT = 702,8 kg CO₂ ha⁻¹). No Latossolo, a emissão de CO₂ foi menor no solo sob preparo com escarificação somente na linha de plantio do que no solo sob preparo com escarificação em área total. No Argissolo, a emissão de CO₂ não diferiu em função do preparo. Para atender ao segundo objetivo, além de avaliar a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, avaliaram-se também a distribuição do tamanho de poros, o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e o carbono orgânico particulado (COP) na camada de 0-0,10 m de profundidade. No Latossolo, somente as propriedades: emissão de CO₂, COP e classe de poro C4 ($\phi \leq 0,04$ mm) diferiram em função da escarificação. O modelo de regressão múltipla explicou 72% da variabilidade da emissão de CO₂ no solo submetido a ELP para o COAM e C2 ($0,05 < \phi \leq 0,1$ mm). No Argissolo, a emissão de CO₂, temperatura, umidade do solo, COAM, COP e as classes de tamanho de poros não diferiram em função das escarificações. Na regressão múltipla, a umidade do solo, C1 ($\phi \geq 0,1$ mm) e o COAM explicaram, juntas, 82% da variabilidade da emissão de CO₂ no solo sob ELP. No Latossolo, a escarificação em linha de plantio e em área total afetaram diretamente a estrutura do solo, causando mudanças na porosidade e alterações na emissão de CO₂ do solo. No Argissolo, a escarificação em linha de plantio e em área total não afetaram a emissão de CO₂.

Palavras-chave: carbono, distribuição de poros, perda de carbono, temperatura do solo e umidade do solo.

SOIL CO₂ EMISSION ASSOCIATED WITH THE CHISELING IN LATOSSOLO AND IN ARGISSOLO

ABSTRACT - The chiseling operations alters the soil structure and affects the dynamics of the soil CO₂ emission in a short period of time. Thus, the aim of this study was to: i- Investigate the temporal variation of CO₂ emission after chiseling for the planting of sugarcane in Latossolo and Argissolo, ii – Characterize and correlation the soil CO₂ emission and pore distribution in Latossolo and Argissolo with chiseling at line and total area to sugarcane planting. The experimental design used was in paired large plots. The treatments consisted of chiseling at the planting line (ELP) and chiseling at total area (EAT) in Latossolo and Argissolo, located in the municipalities of Guariba and Monte Alto, respectively. In order to attend the first aim, the CO₂ emission, temperature and soil moisture were observed for 11 and 12 days, respectively at Argissolo and Latossolo, in the 0-0.10 m depth layer. The Latossolo did not show relationship among CO₂ emission, U_{soil} and T_{soil} to both chiseling. However, the Argissolo showed a significant relationship between the CO₂ emission and U_{soil} to both chiseling, ELP ($R^2 = 0.86$) and EAT ($R^2 = 0.58$). The total CO₂ emission was higher at Latossolo in both chiseling (ELP = 1,042.6 kg CO₂ ha⁻¹ and EAT = 1,336.3 kg ha⁻¹ CO₂) when compared with the Argissolo (ELP = 659.1 kg CO₂ ha⁻¹ and EAT = 702.8 kg CO₂ ha⁻¹). In the Latossolo, CO₂ emission was lower in the soil under preparation with chiseling only in the planting line than in the soil under preparation with chiseling in the total area. In the Argissolo, the CO₂ emission did not differ according to the preparation. In order to attend the second aim, the CO₂ emission, temperature and soil moisture were also observed. Moreover, the distribution of pores size, organic carbon associated with minerals (COAM) and particulate organic carbon (COP) were also evaluated, in the 0-0.10 m depth layer. To Latossolo, the CO₂ emission, COP and the distribution of pores size (C4; $\phi \leq 0.04$ mm) had significant difference between the chiseling. The multiple regression model was able to explain 72% of the CO₂ emission variability to COAM and C2 ($0.05 < \phi \leq 0.1$ mm) at soil under ELP. To Argissolo, the CO₂ emission, temperature, soil moisture, COAM, COP and distribution of pores size were not different between the chiseling. The soil moisture, C1 ($\phi \geq 0.1$ mm) and COAM were able to explain 82% of CO₂ emission variability at soil under ELP. Therefore, the chiseling affected the soil porosity and soil CO₂ emission directly at Latossolo. However, the chiseling did not affect the soil CO₂ emission at Argissolo.

Keywords - carbon, distribution of pores size, Loss of soil carbon, soil temperature and soil moisture.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Introdução

Os estudos sobre as alterações ocorridas no clima global, oriundas do aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa (GEE), tais como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) estão cada vez mais em evidência (SMITH et al., 2003; POWLSON et al., 2014; XIE et al., 2015). Dentre os GEEs, o CO_2 é o gás que mais contribui para este fenômeno, devido à maior quantidade emitida na atmosfera (IPCC, 2014).

Os aumentos na concentração de CO_2 podem aumentar a temperatura em torno de 4,8 °C (IPCC, 2014). Mesmo nessas condições a região Sul pode tornar-se propícia ao plantio de culturas como cana-de-açúcar, mesmo se a região ficar mais suscetível à deficiência hídrica.

O Brasil é o maior produtor mundial da cultura da cana-de-açúcar. Segundo dados da CONAB (2016), a cana-de-açúcar poderá ter uma área colhida para atividade sucroenergética de 9.073,7 mil hectares na safra de 2016/2017. Ainda segundo a CONAB (2016), nessa mesma safra, estima-se que a produtividade seja de 76.152 kg ha⁻¹; assim, a produção está estimada para 691 mil toneladas de cana-de-açúcar nessa safra, quando comparada à safra de 2015/2016 (665,6 mil toneladas). No Brasil, os principais Estados produtores são São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que esses dois últimos tiveram redução na produção total de cana-de-açúcar. O Estado de São Paulo é o maior produtor brasileiro, indicando, no primeiro levantamento, crescimento absoluto em torno de 14 mil toneladas (CONAB, 2016).

Diante deste panorama e tendo em vista que o Brasil é o maior produtor e exportador da cana-de-açúcar no mundo (CONAB, 2016), as práticas adotadas pelo setor sucroenergético brasileiro ganham relevância no meio científico, sendo objeto de vários estudos (LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2011; SILVA-OLAYA et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015).

Os solos são considerados importantes reservatórios naturais de carbono. Em uma escala global, solos de até 1 m de profundidade podem conter até 1.500 Gt C (SCHARLEMANN et al., 2014). O que corresponde a duas vezes mais que a quantidade de carbono presente na atmosfera (720 Pg) e a três vezes mais que a presente na biota terrestre (LAL, 2004). Assim, cerca de 3,5 Mg CO₂ ha⁻¹ podem ser emitidos em função das atividades de preparo do solo, em comparação às áreas que permanecem sem preparo, a exemplo do sistema de plantio direto, e às áreas de pastagem (SILVA-OLAYA et al., 2013; MELLO et al., 2014). No Brasil, as estimativas indicam que as práticas agrícolas, principalmente aquelas relacionadas às mudanças do uso e manejo dos solos são responsáveis por 75% das emissões de CO₂, 94% das emissões de N₂O e 91% das emissões de CH₄ (CERRI et al., 2009).

A escarificação é uma operação agrícola que promove a desagregação do solo a 30 cm de profundidade. É uma operação que provoca a movimentação do solo para o lado, para frente e para cima, causando a quebra dos agregados do solo. Com a desagregação ocorre a exposição do carbono orgânico antes protegido nos agregados do solo, tornando um ambiente propício a atividade microbiana, favorecendo a perda de carbono do interior do solo para atmosfera. Teixeira et al. (2010) em estudo em solo de textura argilosa, verificaram que a escarificação sem rolo destorreador apresentou baixas emissões médias de CO₂ quando comparada ao solo submetido a aração e gradagem após preparo do solo.

O potencial do solo em estocar carbono é um indicador de qualidade do mesmo que se destaca entre as características mais usadas para a realização do monitoramento do solo, tanto a médio quanto a longo prazos (BRIENEN et al., 2015). Para esses autores, a produtividade das culturas é afetada por esse indicador de qualidade do solo, devido a seu efeito na estrutura do solo, na disponibilidade de água para as plantas e na resistência do solo às alterações no valor de pH do meio. Desta forma, é considerado o indicador químico mais sensível para a análise dos processos ou do comportamento do solo.

Encontram-se na literatura diversos estudos envolvendo a emissão de CO₂ induzida por diferentes operações agrícolas em Latossolos (SILVA-OLAYA et al., 2013; SILVA et al., 2014; KRIŠTOF et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015). Entretanto, são escassos os estudos desta natureza em Argissolos (COSTA et al., 2008).

A característica textural dos solos é um ponto-chave para a compreensão da dinâmica da atividade microbiana, e conseqüentemente, dos processos de emissão de CO₂ do solo, uma vez que solos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico na forma de complexos organominerais (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Tais complexos atuam como mecanismo de proteção do carbono contra o ataque microbiano, uma vez que as moléculas orgânicas são adsorvidas pela superfície desses minerais (BRONICK; LAL, 2005).

As operações agrícolas interferem nos atributos físicos, químicos e biológicos do mesmo (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010; MOITINHO et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015). Dentre os fatores físicos e químicos do solo que influenciam na emissão de CO₂ do solo, destacam-se: densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2013), macro e microporosidade (PANOSSO et al., 2011), teor de matéria orgânica (LAL, 2009) e carbono orgânico (COSTA et al., 2008; LAL, 2009; SILVA et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015).

A porosidade do solo é um dos atributos físicos mais afetados pelo manejo do solo. Este atributo é formado por diversos tamanhos de poros, que juntamente com a forma e sua continuidade ao longo do perfil do solo afetam a infiltração, o acúmulo e a drenagem da água, além de afetar o fluxo e a distribuição de ar no solo (KAY; VANDENBYGAART, 2002).

Assim, a distribuição da porosidade total em diferentes tamanhos de poros torna-se fundamental para obtenção de informações específicas sobre a permeabilidade do solo, a infiltração da água, bem como a retenção e o tamanho da área no interior do solo em que as raízes têm acesso ao ar (RIBEIRO et al., 2007).

As diferenças entre diversos manejos em relação ao comportamento físico do solo têm sido identificadas quando se estuda a porosidade total distribuída em diferentes tamanhos de poros (CUNHA et al., 2010).

Diante do exposto, o estudo da distribuição de poros em diferentes tamanhos e sua influência na emissão de CO₂, após a escarificação com menor mobilização do solo, é de suma importância para a compreensão do comportamento desse gás, visando à indicação de sistemas de manejos menos agressivos que possam contribuir para a mitigação de gases causadores do efeito estufa, principalmente o CO₂.

Objetivo Geral

Investigar a variação temporal da emissão de CO₂ em Latossolo e em Argissolo, submetidos à escarificação na linha de plantio e escarificação em área total para o plantio da cana-de-açúcar.

Objetivos Específicos

- I. Investigar o comportamento da emissão de CO₂ após escarificação na linha de plantio e escarificação em área total em textura média e em textura argilosa.
- II. Investigar a variação temporal da temperatura do solo e da umidade do solo após escarificação em Latossolo e Argissolo.
- III. Estudar a dinâmica de CO₂ relacionada aos atributos do solo após a escarificação na linha de plantio e em área total em textura média e em textura argilosa.

Revisão de Literatura

Emissão de CO₂ do solo na agricultura

O setor agrícola responde mundialmente pela emissão de 22% (N₂O), 80% (CO₂) e 55% (CH₄) das emissões dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa adicional (IPCC, 2014). Enquanto, no Brasil, esse mesmo setor, principalmente quando associado às alterações no uso e manejos dos solos agrícolas, colabora com 75% das emissões de CO₂, 94% de N₂O e 91% de CH₄ (CERRI et al., 2009). Para Lamb et al. (2016), aproximadamente um quarto dos gases causadores do efeito estufa adicional é oriundo do setor agrícola.

As práticas agrícolas, como o preparo do solo na reforma da cana-de-açúcar (SILVA-OLAYA et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015), são responsáveis por perdas de carbono em curto espaço de tempo. Assim, as operações agrícolas podem liberar cerca de $3,5 \text{ Mg CO}_2 \text{ h}^{-1}$ para atmosfera em relação às áreas cultivadas com pastagem que não recebem preparo por longo tempo (SILVA-OLAYA et al., 2013; MELLO et al., 2014).

Existem operações agrícolas, tais como o preparo convencional, que consistem em duas ou mais operações: o reduzido, que consiste em apenas uma operação, e o plantio direto, que consiste na semeadura sem o solo ter sido preparado (ASAE, 1997). O preparo convencional tem como base a realização de operações mecânicas com o uso de aração e gradagem, aumentando a decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2004). Como consequência, ocorre a degradação do solo pelo rompimento dos agregados e pela erosão hídrica (RÓS et al., 2014). Com o solo desagregado, ocorre maior exposição do carbono orgânico, antes protegido no interior dos agregados, e agora suscetível ao ataque microbiano; consequentemente, ocorre maior emissão de CO_2 do solo, além de perdas de carbono por erosão. Operações agrícolas menos intensas do solo, como o preparo reduzido, o plantio direto e a escarificação em áreas de produção agrícola, estão substituindo o preparo mais intenso do solo, a exemplo do convencional (MAZURANA et al., 2011).

Silva-Olaya et al. (2013) e de Krištof et al. (2014) verificaram diferenças significativas na emissão de CO_2 em função de diferentes intensidades de preparos empregados no solo. Silva-Olaya et al. (2013) avaliaram emissões de CO_2 sob preparo convencional (gradagem e subsolagem), preparo mínimo (subsolagem) e preparo reduzido (subsolagem na linha de plantio) durante a renovação do canavial, no Sul do Brasil. Krištof et al. (2014) estudaram operações agrícolas, como o plantio direto e o preparo reduzido (arado) na emissão de CO_2 , e verificaram que a intensidade do preparo resultou no aumento da taxa de emissões de CO_2 para a atmosfera. Iamaguti et al. (2015), estudando a emissão de CO_2 em Latossolo, observaram que o solo submetido ao preparo convencional (gradagens) apresentou maiores emissões de CO_2 do que o solo sob preparos com subsolagem convencional (subsolagem em área total) e localizado (subsolagem apenas na linha de plantio), embora estes últimos não tenham diferido entre si. O mesmo foi observado por La Scala et al. (2006), em estudo conduzido em Latossolo, no qual concluíram que as operações agrícolas com preparo

convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador) contribuíram para aumentos da emissão de CO₂ quando comparado com o solo sem distúrbio.

Pesquisas relacionadas às práticas agrícolas, em região de clima temperado, com diferentes sistemas de manejo, concluíram que o revolvimento com a utilização de implementos agrícolas contribui para elevar as perdas de CO₂, sendo os sistemas agrícolas considerados um dos principais responsáveis por esta perda (KESSAVALOU et al., 1998; REICOSKY; ARCHER, 2007).

Efeito da escarificação na emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo

Algumas práticas agrícolas, como alterações no uso e manejo dos solos, aumentam inicialmente a emissão de CO₂, a exemplo da conversão de florestas nativas para áreas de pastagem (CERRI et al., 2009) e as operações agrícolas do solo (IAMAGUTI et al., 2015).

A operação agrícola promove a ruptura dos agregados, deixando o carbono orgânico, antes protegido no interior destes agregados, exposto à ação microbiana e tornando-o mais suscetível ao processo de mineralização (ROSCOE et al., 2006; REICOSKY; ARCHER, 2007; SCHWARTZ et al., 2010; DENDOOVEN et al., 2012). Essas alterações na estrutura física do solo contribuem para a emissão adicional de mais de dois terços do total de emissão dos gases causadores do efeito estufa (BERNOUX et al., 2002).

Dessa forma, operações agrícolas que realizem o mínimo revolvimento do solo têm sido cada vez mais utilizadas, por promover diversos benefícios, como melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008). Iamaguti et al. (2015), ao investigarem o efeito de três operações agrícolas do solo na emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo durante a reforma do canavial em um Latossolo, observaram que a operação agrícola com preparo convencional (grade) apresentou emissão média de 0,749 g CO₂ m⁻² h⁻¹, maior do que o preparo com subsolagem convencional (0,526 g CO₂ m⁻² h⁻¹) e localizado (0,449 g CO₂ m⁻² h⁻¹).

La Scala et al. (2006), estudando a emissão de CO₂ do solo após a operação agrícola com preparo convencional (arado de aiveca) e reduzido, em área de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho, verificaram que a emissão de CO₂ total foi maior no preparo convencional (1.361,8 g CO₂ m⁻²) do que no preparo reduzido (894,9 g CO₂ m⁻²). Teixeira et al. (2011), ao avaliarem as emissões de CO₂ do solo induzidas pela operação agrícola com enxada rotativa, em Latossolo de textura argilosa, concluíram que a operação agrícola com enxada rotativa, com presença de cobertura com palha de cana, foi a que emitiu mais CO₂ (1,365 g de CO₂ m⁻² h⁻¹) para atmosfera, e a menor emissão ocorreu no tratamento sem preparo do solo e sem palhada da cana (0,829 g CO₂ m⁻² h⁻¹).

Em estudo realizado por La Scala et al. (2001), observou-se que a precipitação pluviométrica afetou o fluxo de gás carbônico do solo, no qual ocorreu mudanças no padrão de emissão em curto período de tempo após uma precipitação. O mesmo foi observado em outras pesquisas relacionadas às operações agrícolas do solo (SCHWARTZ et al., 2010; SILVA-OLAYA et al., 2103; IAMAGUTI et al., 2015) e em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar e diferentes manejos (PANOSSO et al., 2009a; VARGAS et al., 2014; MOITINHO et al., 2015). Moitinho et al. (2013), analisando o efeito do preparo do solo e da palhada da cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂, verificaram que após uma chuva houve aumento da emissão de CO₂ no 5º dia de avaliação (6,08 µmol m⁻² s⁻¹) e no 11º dia (4,34 µmol m⁻² s⁻¹). Foram verificados, em estudo realizado em área com cana queimada, acréscimos considerados significativos na emissão de CO₂, depois de uma chuva de 21 mm (PANOSSO et al., 2009a). O mesmo foi observado por Varella et al. (2004) estudando solos cultivados com pastagem, onde verificaram variação no fluxo de gás carbônico (1,6 para 6,2 µmol m⁻² s⁻¹) logo após uma simulação de chuva, com o acréscimo artificial de água no solo. Sendo assim, manejos que propiciem redução na emissão de C-CO₂ da matéria orgânica do solo e de resíduos orgânicos são os que proporcionam maior capacidade de conservação de carbono, em relação aos sistemas que favorecem maior emissão de carbono na forma de CO₂ (COSTA et al., 2008).

Em relação às variações diárias na emissão de CO₂, as condições climáticas são determinantes da intensidade deste fenômeno, em virtude de atuarem diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo, que são fatores controladores

do processo de emissão, por meio de seus efeitos sobre a atividade microbiana e de raízes (TSAI et al., 1992).

A temperatura do solo sofre variações diárias e sazonais, com marcada influência nos horizontes superficiais; portanto, nas regiões de maior atividade microbiana, o que torna esta variável um dos fatores mais importantes no processo de emissão de CO₂, durante e entre os dias (SILVA-OLAYA et al., 2013). Para esses autores, um incremento na temperatura acelera a decomposição da matéria orgânica, a atividade microbiana e das raízes. Portanto, influencia a emissão de CO₂, que responde exponencialmente às elevações na temperatura do solo (DAVIDSON et al., 2000).

Iamaguti et al. (2015), estudando diferentes operações agrícolas do solo, observaram que sua temperatura foi superior no preparo convencional (26,6 °C) quando comparado com os preparos com subsolagem convencional (25,9 °C) e com subsolagem localizada (26,2 °C), não havendo diferença significativa entre os dois últimos manejos. Além disso, Costa et al. (2008) observaram que a emissão do carbono na forma de CO₂ apresentou correlação significativa com a temperatura do solo ($r = 0,88$, $p < 0,0001$) nos sistemas com preparo convencional (aração e duas gradagem) e no plantio direto com adição do uso de culturas (aveia-preta, ervilhaca comum e milho) em um Argissolo Vermelho. Moitinho et al. (2013), avaliando o efeito do preparo do solo sob as emissões de CO₂ em áreas de cana-de-açúcar, verificaram que a temperatura do solo variou entre 24 e 29,5 °C na operação agrícola com preparo e sem resíduo de cana. O mesmo fenômeno foi observado por La Scala et al. (2006), em estudo similar, no qual verificaram que, em solos submetidos ao preparo, ocorreu aumentos de 2,5 °C na temperatura do mesmo.

A umidade presente no solo também é outro fator de suma importância quando da avaliação da emissão de CO₂, pois a variável umidade do solo governa os processos de produção (EPRON et al., 2006; LAL, 2009; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012), o transporte (KANG et al., 2000) e a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010). Assim, dependendo da umidade, tais processos podem ser tanto favorecidos quanto inibidos, uma vez que afetam a atividade microbiana e a difusão de gases (LAL, 2001). Esses efeitos são decorrentes principalmente da interação da umidade e do espaço poroso do solo

(ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008). A aeração e a umidade estão inversamente relacionadas pelo movimento de substituição do ar e da água. As alterações na constituição do ar do solo governam o crescimento e a atividade da microbiota, pois o CO₂ e o O₂ são necessários ao seu crescimento (TSAI et al., 1992).

Em relação à umidade do solo, Iamaguti et al. (2015) observaram que não houve diferença estatística entre as médias da umidade do solo na operação agrícola com subsolagem convencional (21,8%) e com preparos convencional (18,3%) e subsolagem localizada (24,0%). Esses autores verificaram que o valor máximo da umidade do solo (35,0%) ocorreu na operação agrícola com subsolagem localizada, e o menor valor ocorreu no preparo convencional (9,0%). Para Silva-Olaya et al. (2013), a umidade média do solo foi maior no plantio direto (37,0%) e sistemas de preparo mínimo (31,3%), seguido de preparo reduzido (24,3%) e preparo convencional (20,8%). Silva et al. (2014), trabalhando em Latossolo, observaram correlação negativa e significativa entre as variáveis emissão de gás carbônico e a umidade do solo no tratamento linha/com calagem ($r = -0,56$; $p < 0,05$) e linha/sem calagem ($r = -0,66$; $p < 0,05$), demonstrando que a emissão desse gás foi afetada significativamente quando se trabalha na linha de plantio.

Vários autores observaram que a emissão de CO₂ é correlacionada com a umidade do solo (SMITH et al., 2003; SMART; PEÑUELAS, 2005; LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2009b; TEIXEIRA et al., 2011; MOITINHO et al., 2013; SILVA et al., 2014) e a temperatura do solo (SMITH et al., 2003; USSIRI; LAL, 2009; ACRECHE et al., 2013; KARHU et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015).

Iamaguti et al. (2015), estudando diferentes operações agrícolas do solo em Latossolo, também não encontraram diferença entre os valores médios da umidade do solo, no solo submetido a operação agrícola com subsolagem convencional (subsolagem em área total), preparo convencional (2 gradagens) e subsolagem localizada (subsolagem na linha de plantio). Embora não tenha sido observada neste estudo correlação entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo, de modo geral, dependendo da umidade no solo, a emissão de CO₂ pode ser tanto favorecida quanto inibida (SCHWARTZ et al., 2010). La Scala et al. (2006), em estudo conduzido em Latossolo com operações agrícolas, como o preparo convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador), também não encontraram correlação entre essas variáveis.

Todavia, em ambientes temperados, é encontrada correlação entre a temperatura do solo e a emissão de CO₂. Ussiri e Lal (2009), estudando as operações agrícolas do solo (arado de aiveca, escarificador e plantio direto) sobre as emissões de CO₂, com 23 leituras após o preparo, observaram correlação positiva entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo. Reicosky e Archer (2007), avaliando operações agrícolas com o uso do arado de aiveca, não encontraram correlação significativa entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo em 21 dias de avaliação após essa operação agrícola.

Emissão de CO₂ e relação com atributos físicos do solo

A emissão de CO₂ do solo é resultante da interação entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que influenciam tanto na produção quanto no transporte deste gás no perfil do solo (BRITO et al., 2010). Para Brito et al. (2010), além destes atributos, a dinâmica da emissão de CO₂ depende também das práticas de manejo do solo a serem adotadas, assim como das condições climáticas locais.

Dentre os fatores físicos que influenciam a emissão do CO₂ do solo, podem-se citar: densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2013), macro e microporosidade (PANOSSO et al., 2011), teor de matéria orgânica (LAL, 2009) e carbono orgânico (COSTA et al., 2008; LAL, 2009).

Altas densidades do solo e baixa porosidade afetam a atividade biológica do solo. Nessas condições, ocorre diminuição de até um terço na quantidade de microrganismo no solo (bactérias, fungos e actinomicetos), o que contribui para a redução na emissão de CO₂ (LI et al., 2002). Novara et al. (2012), estudando a emissão de CO₂, verificaram diminuição de um terço na emissão de CO₂ quando a densidade do solo atingiu 1,5 g cm⁻³ em solo de textura arenosa. Além disso, a concentração de CO₂ nos poros do solo é significativamente maior do que na atmosfera, na ordem de 10 a 100 vezes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esse fato está associado à atividade respiratória no solo, sendo a respiração radicular responsável por 20% desse aumento na concentração de CO₂, e os 80% restantes são oriundos da atividade biológica do solo (MELILLO et al., 2002). Diversas características dos

poros (tamanho, continuidade e sua forma) interferem no transporte de gases (LUO et al., 2010) e na atividade microbiológica do solo (MANGALASSERY et al., 2013). Estas características dos poros são afetadas pela textura do solo (MOONEY; MORRIS, 2008) e pelas atividades agrícolas relacionadas ao manejo do solo (ZHOU et al., 2008).

A característica textural dos solos é um ponto-chave para a compreensão da dinâmica da atividade microbiana, e consequentemente, dos processos de emissão de CO₂ do solo, uma vez que solos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico na forma de complexos organominerais (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Tais complexos atuam como mecanismo de proteção do carbono contra o ataque microbiano, uma vez que as moléculas orgânicas são adsorvidas pela superfície desses minerais (BRONICK; LAL, 2005). Os óxidos de Fe e Al atuam como agentes cimentantes nos agregados do solo, ou seja, a agregação é favorecida na presença desses óxidos (McINTYRE, 1956; KEMPER, 1966).

Os minerais caulinita, hematita, goethita, gibbsita e anatásio são encontrados na composição mineralógica de Argissolo oriundos de arenitos do grupo Bauru (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003). Segundo Moniz e Carvalho (1973) e Carvalho (1976) a caulinita é o mineral predominante no desenvolvimento de solos arenosos do grupo Bauru. Segundo estudo desenvolvido por Arca e Weed (1966) nos Estados Unidos, os óxidos de Fe e Al afetam o tamanho dos agregados do solo. Para Camargo (2009), solos com alto teor de argila podem apresentar alta estabilidade de agregados, enquanto, solos de areia fina pode apresentar baixa estabilidade de agregados. Isso ocorre, devido à presença de agregados estáveis que se formam por meio de agentes cimentantes, como por exemplo, a matéria orgânica e os óxidos de Fe e Al nos solos argilosos (FERREIRA et al., 1999).

Moitinho et al. (2015), em estudo sobre emissão de CO₂ e sua relação com propriedades e manejo do solo e palha, observaram relação significativa e positiva entre a emissão de CO₂ e a porosidade livre de água, assim como entre a emissão de CO₂ e a matéria orgânica do solo. Além disso, Moitinho et al. (2015) também observaram que a porosidade livre de água explicou 50% da variabilidade da emissão de CO₂.

Observam-se na literatura vários trabalhos que abordam a emissão de CO₂ relacionada somente ao volume total de poros (VTP) ou à distribuição de macro e microporos (PANOSSO et al., 2009b, 2011; MOITINHO et al., 2015).

Encontram-se na literatura diversos estudos envolvendo a emissão de CO₂ induzida por diferentes preparo do solo em Latossolos (SILVA-OLAYA et al., 2013; SILVA et al., 2014; KRIŠTOF et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015). Entretanto, são escassos os estudos desta natureza em Argissolos (COSTA et al., 2008). Reicosky e Archer (2007), avaliando os efeitos da profundidade de aração sobre a perda de CO₂ de um solo argiloso, verificaram decréscimo na emissão de CO₂, 5 h após a operação agrícola, devido à perturbação no solo pela aração ocasionada pelo preparo e pela liberação de CO₂ que estava armazenado nos poros do solo. Para esses autores, isso levou a um aumento na emissão de CO₂. Para Guo et al. (2015), a maior concentração de O₂ no solo favorece o aumento das atividades microbianas, e isto pode ser, além do efeito da operação agrícola, outro contribuinte para o aumento da emissão de CO₂ do solo.

Solos arenosos apresentam maior organização entre as partículas e são mais resistentes a forças externas (BRAGA et al., 2015). Em condições nas quais ocorre elevações na densidade do solo e, conseqüentemente, decréscimo na porosidade, ocorre redução de até um terço na quantidade de microrganismo no solo (bactérias, fungos e actinomicetos), o que favorece o decréscimo na emissão de CO₂ (LI et al., 2002; SHESTAK; BUSSE, 2005). Além disso, Dilustro et al. (2005), estudando os efeitos da umidade e da textura do solo na emissão de CO₂ do solo, em florestas de pinheiros, verificaram que, em solo de textura argilosa, a emissão de CO₂ do solo foi maior (3,96 mmol m² s⁻¹) quando comparado ao solo arenoso (2,71 mmol m² s⁻¹).

Assim, diante do fato de que a porosidade do solo é fundamental para o melhor entendimento a respeito do armazenamento e do transporte de água e gases no interior do solo (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008) e que existe uma escassez de estudos que abordam a distribuição de poros de diferentes tamanhos sobre a emissão de CO₂, o presente estudo visa a contribuir com a literatura, avaliando tal relação.

Referências

ACRECHE, M. M.; PORTOCARRERO, R.; CHALCO VERA, J.; DANERT, C.; VALEIRO, A. H. Greenhouse gas emissions from green-harvested sugarcane with and without post-harvest burning in Tucumán, Argentina. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 195–199, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-013-0270-5>>.

ARCA, M. N.; WEED, S. B. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxide and clay. **Soil Science**, Baltimore, v. 109, p. 282-288, 1966.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Terminology and definitions for agricultural tillage implements**. In: ASAE Standards 1997: Standards Engineering Practices Data, St. Joseph, 1997. p. 254-75.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 39, p. 677-683, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>>.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbono stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.8880>>.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 39, p. 1025-1035, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140724>>.

BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO-MENDOZA, A.; MALHI, Y.; LEWIS, S. L.; VÁSQUEZ, R.; MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ÁLVAREZ, D. E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M.; ARROYO, M. L.; AYMARD, G. A.; BÁNKI, O. S.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, p. 344-348, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/nature14283>>.

BRITO, L. F.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in different topographic positions. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p.

19–27, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000500004>>.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p.3–22, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>>.

CAMARGO, L. A. **Mineralogia da argila e atributos físicos de um Argissolo em curvaturas de relevo**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2009.

CARBONELL-BOJOLLO, R. M.; REPULLO-RUIBÉRRIZ, M. A.; RODRÍGUEZLIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Influence of soil and climate conditions on CO₂ emissions from agricultural Soils. **Water Air Soil Pollution**, v. 223, p. 3425–3435, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-012-1121-9>>.

CARVALHO, A. Solos da região de Marília: relações entre a pedogênese e a evolução do relevo. 1976. 163 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000600017>>.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do grupo Bauru II – Mineralogia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 495-507, 2003.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar. Safra 2016/17. Brasília: Primeiro levantamento, v. 3, n. 1, 2016, p. 1-66.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 323–332, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>>.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1160- 1169, 2010. Disponível em: < <http://dx.http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001100005>>.

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L. V.; CATTÂNIO, H.; ACKERMAN, I. L.; CARVALHO, E. M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 53–69, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1023/A:1006204113917>>.

DENDOOVEN, L.; GUTIÉRREZ-OLIVA, V. F.; PATIÑO-ZÚÑIGA, L.; RAMÍREZVILLANUEVA, D. A.; VERHULST, N.; LUNA-GUIDO, M.; MARSCH, R.; MONTESMOLINA, J.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A.; GOVAERTS, B. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. **Science of the Total Environment**, v. 431, p. 237–244, 2012. Disponível em: < <http://dx.http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.029>>.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 1, p. 87-97, 2005. Disponível em: < <http://dx.http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.001>>.

DUARTE JUNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 576-583, 2008. Disponível em: < <http://dx.http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600003>>.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, Nova York, v. 22, p. 565-574, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi: https://doi.org/10.1017/S0266467406003415>>.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23:507-514, 1999.

GUO, L. L.; NISHIMURA, T.; MIYAZAKI, T.; IMOTO, H. Behavior of carbon dioxide in soils affected by tillage systems. **Paddy and Water Environment**, v. 13, n. 4, p. 291–301, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1007/s10333-014-0440-4>>.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 497–504, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p497-504>>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 107–118, 2002. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00019-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00019-3)>.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 173–184, 2000. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00290-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00290-X)>.

KARHU, K.; AUFFRET, M. D.; DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; PROSSER, J. I.; SINGH, B. K.; SUBKE, J.; WOOKEY, P. A.; ÅGREN, G. I.; SEBASTIA, M.; GOURIVEAU, F.; BERGKVIST, G.; MEIR, P.; NOTTINGHAM, A. T.; SALINAS, N.; HARTLEY, I. P. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. **Nature**, London, v. 513, p. 81–84, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/nature13604>>.

KEMPER, W. D. Aggregate stability of soils from western United States and Canada. Washington: U.S. Government Printing Office, 1966. (Technical Bulletin, 1355).

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. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700050016x>>.

KRIŠTOF, K.; ŠIMA, T.; NOZDROVICKÝ, L.; FINDURA, P. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. **Agronomy Research**, v. 12, p. 115–120, 2014.

LA SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006. Disponível em: <<http://dx.http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>>.

LA SCALA JR, N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latossol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, p. 163–166, 2001. Challenges and opportunities in soil organic matter research.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 158–169, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>>.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 122, 2004. Disponível em: <<http://dx.http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>>.

LAL, R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 145-191, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71014-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71014-0)>.

LAMB, A.; GREEN, R.; BATEMAN, I.; BROADMEADOW, M.; BRUCE, T.; BURNEY, J.; GOULDING, K. **The potential for land sparing to offset greenhouse gas emissions from agriculture**. Nature Climate Change, London, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2910>>.

LI, X.; INUBUSHI, K.; SAKAMOTO, K. Nitrous oxide concentrations in Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 108–113, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1007/s00374-002-0447-7>>.

LUO, L.; LIN, H.; LI, S. Quantification of 3-D soil macropore networks in different soil types and land uses using computed tomography. **Journal of Hydrology**, v. 393, p. 53–64, 2010. Disponível em: <<http://dx.http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.031>>.

MANGALASSERY, S. S. J. O.; GERSTEN, S.; SPARKES, D. L.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence

on emission of greenhouse gases. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 132, p. 39–46, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.05.003>>.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1197-1206, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400013>>.

McINTYRE, D. S. The effect of free ferric oxide on the structure of some Terra Rossa and Rendzina soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 7, p. 302-306, 1956.

MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; ABER, J. D.; NEWKIRK, K.; LUX, H.; BOWLES, F. P.; CATRICALA, C.; MAGILL, A.; AHRENS, T.; MORRISSEAU, S. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. **Science**, v. 298, p. 2173-2176, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1126/science.1074153>>.

MELLO, F. F.; CERRI, C. E.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n. 7, p. 605–609, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2239>>.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1720–1728, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600028>>.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; FERRAUDO, A. S.; LA SCALA JR, N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, p. 127-132, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.12.012>>.

MONIZ, A. C.; CARVALHO A. Sequência de evolução de solos derivados do Arenito Bauru e de rochas básicas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 309-335, 1973.

MOONEY, S. J.; MORRIS, C. A morphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray Computed Tomography. **Catena**, v. 73, p. 204–211, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.003>>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.Ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. p. 729.

NOVARA, A.; ARMSTRONG, A.; GRISTINA, L.; SEMPLE, K. T.; QUINTON, J. N. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 994-999, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3224>>.

ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL BOJOLLO, R.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, P.; PEREA TORRES, F. Influência de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO₂ en un suelo arcilloso de la vega de Carmona. **Carel**, v. 6, p. 2339-2354, 2008.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.10.002>>.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275–282, 2009a. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.09.008>>.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um Latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p.1017-1034, 2009b. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4Sup1p1017>>.

POWLSON, D. S.; STIRLING, C. M.; JAT, M. L.; GERARD, B. G.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A.; CASSMAN, K. G. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n. 8, p. 678-683, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2292>>.

REICOSKY, D. C.; ARCHER, D. W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 109–121, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.07.004>>.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1167-1175, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>>.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. de C. Propriedades físicas de solo em diferentes sistemas de preparo para o cultivo da batata-doce. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 227-238, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p227>>

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

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, p. 107–119, 2003. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00160-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00160-5)>.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPO, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, p. 81–91, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4155/cmt.13.77>>.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 221–229, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.07.015>>.

SHESTAK, C. J.; BUSSE, M. D. Compaction alters physical but not biological indices of soil health. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 236–246, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2005.0236>>.

SILVA, E. F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 885–898, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000500008>>.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 1–8, 2013.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 247–57, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.07.011>>.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science** v. 54, p. 779–791, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0567.x>>.

TEIXEIRA, D. de B.; BICALHO, E. da S.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 3, p.195-203, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000300008>>.

TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, n. 1, p. 187-194, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-0770-6>>.

TEIXEIRA, L. G.; LA SCALA JR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **Holos Environment**, v.10 n.1, p. 1-11, 2010.

TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo umidade e aeração. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p. 60-89.

VARELLA, R. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KISSELLE, K. W.; SANTOS, R. V.; BURKE, R. A.; ZEPP, R. G.; VIANA, L. T. Soil fluxes of CO₂, CO, NO and N₂O an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 14, n. 4, p. 221-231, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1890/01-6014>>.

VARGAS, V. P.; CANTARELLA, H.; MARTINS, A. A.; SOARES, J. R.; CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A. Sugarcane crop residue increases N₂O and CO₂ emissions under

high soil moisture conditions. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 174-179, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1007/s12355-013-0271-4>>.

XIE, S. P.; DESER, C.; VECCHI, G. A.; COLLINS, M.; DELWORTH, T. L.; HALL, A.; HAWKINS, E.; JOHNSON, N. C.; CASSOU, C.; GIANNINI, A.; WATANAB, M. Towards predictive understanding of regional climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 921–930, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1038/nclimate2689>>.

USSIRI, 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, p. 39–47, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>>.

ZHOU, X.; LIN, H. S.; WHITE, E. A. Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes. **Catena**, v. 73, p. 180–188, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.009>>.

CAPÍTULO 2 – Variabilidade temporal da emissão de CO₂ após escarificação para plantio de cana-de-açúcar

RESUMO - O objetivo deste estudo foi investigar a variação temporal da emissão de CO₂ do solo após escarificação do solo para o plantio da cana-de-açúcar em Latossolo e em Argissolo. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas grandes pareadas, com tratamentos consistindo em escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo, localizados nos municípios de Guariba e Monte Alto, respectivamente. A emissão de CO₂, a temperatura do solo (T_{solo}) e a umidade do solo (U_{solo}) foram avaliados ao longo de um período de 12 dias após a operação de escarificação, na camada de 0-0,10 m de profundidade. No Latossolo, a emissão de CO₂ foi maior no 2º dia após a escarificação e reduziu até o 6º dia após a escarificação do solo, estabilizando-se com valores próximos ao observado no solo antes da escarificação. Além disso, a T_{solo} e a U_{solo} foram apenas influenciadas pela precipitação durante o período avaliado. Em relação ao Argissolo não houve diferença estatística ($p > 0.01$) para emissão de CO₂ e U_{solo} quando se considera a ELP e EAT. No Argissolo a emissão de CO₂ foi correlacionada à U_{solo} tanto no solo submetido a ELP ($R^2 = 0,86$) e EAT ($R^2 = 0,58$). As emissões totais de CO₂ no período de estudo foram maiores ($p < 0.01$) no Latossolo em ambas as escarificações (ELP = 1,042.6 kg CO₂ ha⁻¹ e EAT = 1,336.3 kg ha⁻¹ de CO₂), e menores no Argissolo (ELP = 659,1 kg CO₂ ha⁻¹ e EAT = 702,8 kg CO₂ ha⁻¹). Os resultados do presente estudo indicam que o preparo do solo com escarificação na linha de plantio favorece menores emissões de CO₂ do solo para a atmosfera e contribui para a redução da degradação do solo cultivado com cana-de-açúcar. Assim, práticas de manejo com menor mobilização do solo auxiliam na mitigação de gases do efeito estufa no âmbito agrícola.

Palavras-chave: temperatura do solo, umidade do solo, perda de carbono.

Introdução

Aumentar a eficiência de práticas convencionais de manejo, integrando e/ou substituindo por alternativas mais sustentáveis são considerados grandes desafios para os novos rumos da agricultura mundial (FAO, 2015). Práticas agrícolas alternativas visam a diminuir a contribuição de práticas convencionais no aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa (GEE), tais como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), que estão cada vez mais em evidência devido à questão ambiental (SMITH et al., 2003; XIE et al., 2015). Dentre os GEEs, o CO_2 é o gás que mais contribui para este fenômeno, devido à maior quantidade emitida na atmosfera (IPCC, 2014).

No Brasil, as estimativas indicam que as práticas agrícolas e as mudanças do uso e manejo dos solos, ocasionadas pelo desmatamento, são responsáveis por 75%, 94% e 91% das emissões de CO_2 , N_2O e CH_4 , respectivamente (CERRI; CERRI, 2007). Os solos são considerados importantes reservatórios naturais de carbono. Em uma escala global, solos de até 1 m de profundidade podem conter até 1.500 Gt C (SCHARLEMANN et al., 2014). Assim, cerca de $3,5 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ podem ser emitidos em função do preparo, quando comparado às áreas que permanecem sem preparo, a exemplo do plantio direto e das áreas de pastagem (SILVA-OLAYA et al., 2013; MELLO et al., 2014). Vários autores observaram emissões de CO_2 em curto período de tempo após preparo do solo, 12 dias (SILVA et al., 2014) e 8 dias (IAMAGUTI et al., 2015), e em períodos maiores, 21 (REICOSKY; ARCHER, 2007), 33 (COSTA et al., 2008) e 44 dias de avaliação após o preparo do solo (SILVA-OLAYA et al., 2013).

Existem várias operações agrícolas de preparo do solo, tais como o preparo convencional, que consiste em duas ou mais operações agrícolas, o reduzido, que consiste em apenas uma operação, e o plantio direto, que consiste na semeadura do solo sem o mesmo ter sido preparado (ASAE, 1997). O preparo convencional tem como base a realização de operações mecânicas com o uso de aração e gradagem, aumentando a decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2004). Como consequência, ocorre a degradação do solo pelo rompimento dos agregados e pela erosão hídrica (RÓS et al., 2014). Com o solo desagregado, ocorre maior exposição

do carbono orgânico, antes protegido no interior dos agregados, e agora suscetível ao ataque microbiano, consequentemente ocorre maior emissão de CO₂ do solo, além de perdas de carbono por erosão.

Dentro deste contexto, práticas agrícolas, que envolvam baixa mobilização do solo, podem garantir o aumento do estoque de carbono e menor emissão de CO₂, a exemplo da adoção do cultivo mínimo e do plantio direto (COSTA et al., 2008; LAL, 2009; IAMAGUTI et al., 2015). Em algumas áreas destinadas à produção agrícola, têm-se adotado escarificação com mobilização na linha de plantio de cana-de-açúcar, com o objetivo de desestruturar o solo o mínimo possível. Práticas agrícolas como essa visam à diminuição do impacto ambiental decorrente da atividade agrícola.

A escarificação promove a mobilização do solo a 30 cm de profundidade, no qual proporciona a movimentação do solo para o lado, para frente e para cima, causando a desagregação do solo. A desagregação promove a ruptura dos agregados, o que acarretará na exposição do carbono orgânico, que fica exposto a atividade microbiana. Teixeira et al. (2010), estudando o fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação, verificaram que o solo submetido ao arado de disco e grade niveladora foi o que mais emitiu CO₂ (260,7 g CO₂ m⁻²) no período de 14 dias de avaliação quando comparado ao solo submetido a escarificação sem rolo destorroador (82,3 g CO₂ m⁻²). A quantidade de carbono liberado na forma de CO₂ (C-CO₂), proveniente das práticas de preparo do solo, está relacionada diretamente com a intensidade do preparo e da alteração, principalmente na estrutura do solo (REICOSKY; ARCHER, 2007; TEIXEIRA et al., 2010; SILVA-OLAYA et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015).

As operações agrícolas de preparo afetam significativamente os atributos do solo (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010; MOITINHO et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015). Dentre os atributos físicos e químicos do solo que influenciam na emissão de CO₂, destacam-se: densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2013), macro e microporosidade (PANOSSO et al., 2011), teor de matéria orgânica (LAL, 2009) e carbono orgânico (COSTA et al., 2008; LAL, 2009).

Encontram-se na literatura diversos estudos envolvendo a emissão de CO₂ induzida por diferentes práticas agrícolas de preparo em Latossolos (SILVA-OLAYA et al., 2013; SILVA et al., 2014; KRIŠTOF et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015). Esses

estudos apresentam informações importantes sobre o impacto de diferentes operações de preparo do solo nas emissões de CO₂ do solo para a atmosfera. Entretanto, são escassos os estudos desta natureza em Argissolos (COSTA et al., 2008).

A característica textural dos solos é um ponto-chave para a compreensão da dinâmica da atividade microbiana, e consequentemente, dos processos de emissão de CO₂ do solo, uma vez que solos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico na forma de complexos organominerais (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Tais complexos atuam como mecanismo de proteção do carbono contra o ataque microbiano, uma vez que as moléculas orgânicas são adsorvidas pela superfície desses minerais (BRONICK; LAL, 2005).

Diante deste contexto, o presente estudo aborda características da dinâmica temporal da emissão de CO₂ em Latossolo e Argissolo. Portanto, baseia-se na hipótese de que a emissão de CO₂ induzida pela escarificação ocorre de forma distinta, tanto em função da intensidade da operação agrícola, quanto da textura do solo. Assim, objetivou-se investigar a variação temporal da emissão de CO₂ do solo após escarificação do solo para o plantio da cana-de-açúcar em Latossolo e Argissolo.

Material e Métodos

Caracterização das áreas de estudo

O experimento foi realizado em duas áreas agrícolas, localizadas próximo às coordenadas geográficas 21° 24' de latitude sul e 48° 12' de longitude oeste, e com altitude média de 618 m, caracterizada como Latossolo (Figura 2.1a), na cidade de Guariba, e 21° 15' de latitude sul e 48° 25' de longitude oeste, com altitude média de 735 m, caracterizada como Argissolo (Figura 2.1b), na cidade de Monte Alto, ambas no Estado de São Paulo, Brasil. A distância entre as áreas é de aproximadamente 27 km.

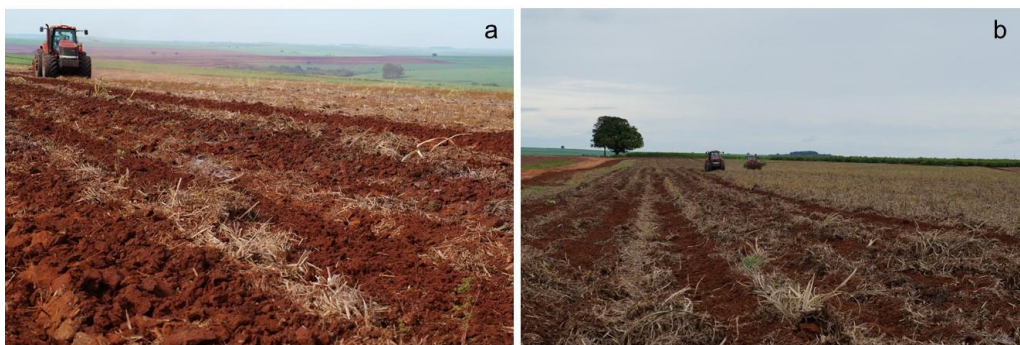


Figura 2.1. Áreas experimentais, Latossolo (a) e Argissolo (b).

O clima da região onde estão localizadas as áreas experimentais, segundo a classificação de Köppen, é Aw, tipo mesotérmico com inverno seco, com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18° C. A precipitação média anual é de 1.400 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro. As duas áreas foram destinadas à produção de cana-de-açúcar por mais de 20 anos. Em ambas as áreas, o sistema de colheita antes e depois de 2004 era realizado de forma mecanizada.

A caracterização da textura dos solos foi realizada por meio da análise granulométrica na camada de 0,0 – 0,10 m de profundidade, de acordo com Claessen (1997). O Latossolo apresenta 550 g kg⁻¹ de argila, 392 g kg⁻¹ de areia e 58 g kg⁻¹ de silte e, para o Argissolo, 130 g kg⁻¹ de argila, 809 g kg⁻¹ de areia e 61 g kg⁻¹ de silte. O Latossolo está localizado próximo à transição arenito-basalto, sendo o arenito Vale do Rio do Peixe, antigo Grupo Bauru, Formação Adamantina, e basalto da Formação Serra Geral (IPT, 1981). A geologia do Argissolo é o arenito Vale do Rio do Peixe, antigo Grupo Bauru, Formação Adamantina. O Latossolo apresenta relação caulinita(Ct)/gibbsita(Gb) de 0,50, apresenta teores de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_{DCB}) de 80,32 g kg⁻¹. O Argissolo apresenta relação caulinita(Ct)/gibbsita(Gb) de 0,65, apresenta teores de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_{DCB}) de 18,5 g kg⁻¹ (JACKSON, 1985; MEHRA; JACKSON, 1960).

Delineamento experimental e escarificações conduzidas nas áreas

O delineamento experimental foi realizado em parcelas grandes pareadas (PERECIN, 2008; PERECIN et al., 2015). Os tratamentos utilizados consistiram em duas escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Antes da escarificação do solo, ocorreu a eliminação mecânica da soqueira da cana-de-açúcar, no mês de novembro de 2014, na área de Latossolo, por meio de um eliminador mecânico de soqueira, e a eliminação química da soqueira na área de Argissolo ocorreu no mês de janeiro de 2015, utilizando glifosato na dose de 4 L ha⁻¹. No Latossolo, foram aplicados corretivos na quantidade de 1,5 t ha⁻¹ de calcário e 1 t ha⁻¹ de gesso, no mês de dezembro de 2014. No Argissolo, foram aplicados corretivos na quantidade de 3,0 t ha⁻¹ de calcário e 1 t ha⁻¹ de gesso, aplicados no mês de janeiro de 2015.

Na área de Latossolo, a escarificação foi realizada em 31 de janeiro de 2015, com a umidade do solo igual a 0,18 g g⁻¹. Na área de Argissolo, a escarificação ocorreu em 17 de fevereiro de 2015, com a umidade do solo igual a 0,11 g g⁻¹. As áreas experimentais apresentam aproximadamente 10 ha (Latossolo) e 9 ha (Argissolo), sendo cada área composta por 20 parcelas, sendo 10 parcelas para cada escarificação avaliada, nas quais cada parcela mediu aproximadamente 0,50 ha no Latossolo e 0,45 ha no Argissolo.

A escarificação do solo na linha de plantio (ELP) ocorreu com utilização de escarificador com dois pares de hastes espaçados em 1,5 m (considerando-se o centro de cada par de hastes), devido ao espaçamento de plantio da cana-de-açúcar, com dois rolos destorreadores. A distância entre as hastes que compõem cada par é de 0,50 m. A escarificação do solo em área total (EAT) foi realizada com escarificador com cinco hastes espaçadas em 0,50 m, com dois rolos destorreadores. Para os dois escarificadores, o comprimento da haste é de 0,8 m, e a ponteira possui 0,25 m de comprimento e 0,04 m de largura, que possibilitam uma profundidade de trabalho de 0,30 m.

Determinação dos atributos do solo para a caracterização da área de estudo

Após a escarificação, coletaram-se amostras de solo após o preparo na camada de 0,0 – 0,10 m de profundidade. Amostras deformadas, coletadas com auxílio de um trado tipo holandês, foram utilizadas para a determinação do teor de carbono orgânico (CO) (YEOMANS; BREMNER, 1988). As amostras utilizadas para a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados (NIMMO; PERKINS, 2002) foram coletadas com auxílio de enxadão. As amostras indeformadas foram coletadas com o trado tipo Uhland, utilizando-se de anéis volumétricos (0,05 m x 0,05 m) e utilizadas para a determinação de densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) do solo (CLAESSEN, 1997).

Coletaram-se duas amostras em cada parcela, sendo uma na linha e outra na entrelinha da cultura de cana-de-açúcar, para fins de caracterização das áreas de estudo (Tabela 2.1). Os valores apresentados são decorrentes da média de 20 observações, ou seja, das amostras coletadas na linha e na entrelinha da cultura, em cada uma das 10 parcelas experimentais.

Tabela 2.1. Diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MACRO), microporosidade (MICRO) e carbono orgânico (CO) na camada de 0-0,10 m de profundidade de Latossolo e Argissolo submetidos à escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Operação de escarificação	DMP mm	Ds g cm ⁻³	Pt m ³ m ⁻³	MACRO m ³ m ⁻³	MICRO m ³ m ⁻³	CO g kg ⁻¹
Latossolo						
ELP	3,49 ± 0,14*	1,30 ± 0,03	0,49 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,35 ± 0,01	16,73 ± 0,42
EAT	3,42 ± 0,11	1,18 ± 0,02	0,56 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,41 ± 0,01	19,14 ± 0,55
Argissolo						
ELP	1,75 ± 0,17	1,73 ± 0,02	0,31 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,25 ± 0,01	6,86 ± 0,17
EAT	1,69 ± 0,18	1,68 ± 0,02	0,33 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,25 ± 0,01	7,13 ± 0,21

Número de observações = 20. *Média ± erro-padrão da média.

Avaliação da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo

Para as avaliações da emissão de CO₂ do solo, em cada área experimental, foram demarcados 40 pontos (20 na área com ELP e 20 na área com EAT), e inseridos

colares de PVC, sendo um colar na linha e outro na entrelinha de plantio da cana-de-açúcar, espaçados com distância mínima de 5 m. Os colares de PVC foram inseridos no solo antes da escarificação, retirados da área para a realização da escarificação e novamente inseridos no solo após a escarificação, mantendo-se os mesmos pontos, que foram georreferenciados quando inseridos no solo pela primeira vez. Assim, os valores foram decorrentes da média da emissão de CO₂ avaliada na linha e na entrelinha da cultura antes do plantio e antes da sulcação da cana-de-açúcar. Na área de Latossolo, foi realizada uma leitura antes da escarificação (18 de janeiro de 2015) e foram conduzidas 10 avaliações após, compreendidas em um período total de 12 dias após as escarificações do solo (1; 2; 3; 5; 6; 7; 8; 10; 11 e 12 de fevereiro de 2015). Na área de Argissolo, também foi realizada uma leitura antes da escarificação (1º de fevereiro de 2015) e foram conduzidas 10 avaliações após, compreendidas em um período total de 11 dias após as escarificações do solo (19; 20; 21; 22; 23; 24; 26; 27 e 28 de fevereiro e 1º de março de 2015). As avaliações foram realizadas sempre no período matutino, das 7 às 9 h. Não foram realizadas medições da emissão de CO₂ em dias com precipitações que coincidiram com o horário das avaliações. Quando as precipitações ocorreram no período da tarde, as leituras da emissão de CO₂ foram realizadas.

A emissão de CO₂ do solo foi registrada utilizando-se do equipamento LI-COR (LI-8100A) (Figura 2.2), Nebraska EUA, que consiste em uma câmara fechada com volume interno de 854,2 cm³ e área de contato com o solo de 83,7 cm². A câmara foi acoplada sobre os colares de PVC, com diâmetro de 0,10 m, com 0,05 m de altura e introduzidos 0,03 mm de profundidade no solo. O sistema monitora as variações na concentração de CO₂ dentro da câmara por meio de espectroscopia de absorção óptica, na região espectral do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). O período total de avaliação da emissão de CO₂ em cada ponto foi de 90 s.

Simultaneamente às avaliações da emissão de CO₂, foram determinadas a temperatura (T_{solo}) e a umidade do solo (U_{solo}). A temperatura do solo foi monitorada por meio de um sensor de temperatura, com uma haste de 0,12 m, que foi introduzida no solo, próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC. A umidade do solo, avaliada na camada de 0,0-0,12 m, foi obtida utilizando-se de um aparelho TDR

(Figura 2.2), Time Domain Reflectometry (Hydrosense TM, Campbell), inserido no solo próximo aos colares de PVC.



Figura 2.2. Sistema LI-COR (LI-8100A), sensor de temperatura do solo e aparelho TDR para medir umidade do solo.

As precipitações, ocorridas durante o período das avaliações, foram obtidas por pluviômetros instalados nas áreas experimentais, com leituras realizadas diariamente.

Processamento de dados e análise estatística

A análise de variância foi realizada no delineamento em parcelas grandes pareadas (PERECIN, 2008; PERECIN et al., 2015).

A comparação das médias diárias das variáveis em estudo foi realizada utilizando-se do teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade. As análises de variância e de regressão linear entre as variáveis foram realizadas utilizando o sistema SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, Cary, NC, EUA, 1987). A regressão linear foi utilizada para a análise da variabilidade temporal dos dados, o nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

As emissões acumuladas de CO₂ do solo, durante todo o período de estudo, foram estimadas pelo método da área abaixo das curvas de emissão, utilizando o software R (R Development Core Team, 2011).

Resultados e Discussão

Variabilidade temporal da emissão de CO₂ no Latossolo

A emissão de CO₂ foi maior no 1º dia após a escarificação e reduziu-se até o 6º dia após a escarificação, estabilizando-se com valores próximos ao observado antes de o solo ser submetido à escarificação (Figura 2.3). Após a mobilização do solo, a atividade basal microbiana é ativada pelas condições adequadas do solo e, posteriormente, decresce até sua estabilização, fazendo com que a emissão do solo volte aos níveis antes das operações agrícolas de preparo, ou seja, semelhantes aos solos que não sofreram as atividades de preparo (SIX et al., 2006). A ocorrência de chuva durante o período (12 dias) de avaliação influenciou na variação da emissão de CO₂ do solo. A precipitação promove o preenchimento dos poros com água, propiciando um ambiente com baixa oxigenação, limitando a produção de CO₂ no solo devido, provavelmente, à redução da atividade microbiana no 6º dia após o solo ser submetido à escarificação. O solo submetido à escarificação na linha de plantio promoveu menores emissões de CO₂ quando comparado ao solo submetido à escarificação em área total. Isso ocorreu devido ao solo sob escarificação ter mobilizado o solo em área total, expondo a matéria orgânica ao ataque microbiológico, favorecendo assim a perda de carbono para a atmosfera, favorecida também pela maior oxigenação do solo (FUENTES et al., 2006).

Analisando o efeito das escarificações (Figura 2.3), observa-se que o solo submetido à escarificação na linha de plantio apresentou, em média, a menor emissão de CO₂ quando comparado ao solo submetido à escarificação em área total, independentemente dos dias avaliados. Esses resultados corroboram os estudos que também verificaram diferenças significativas

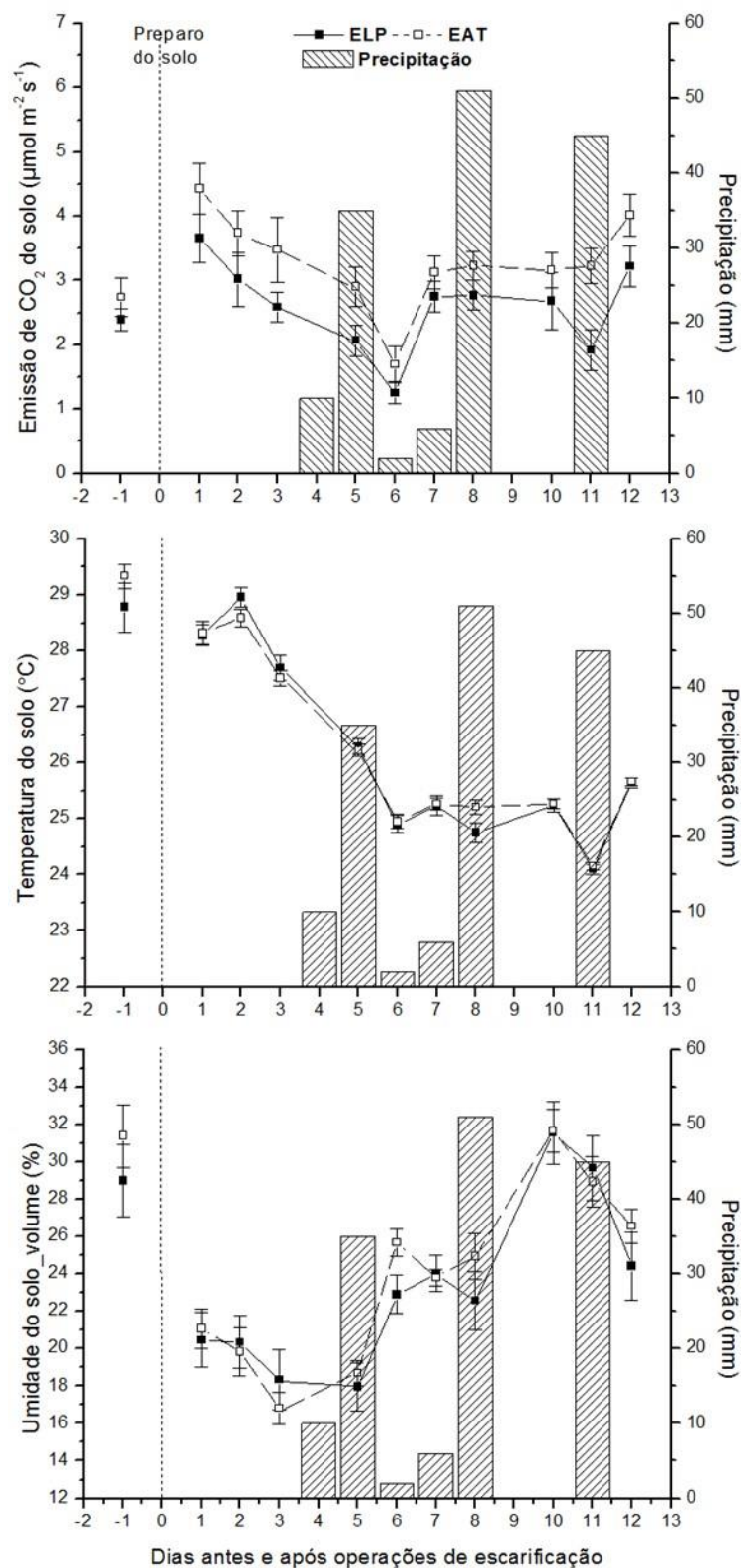


Figura 2.3. Médias $\pm$ erro-padrão da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, e precipitações ocorridas no período de estudo, após a escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT) no Latossolo.

na emissão de CO₂ em função de diferentes intensidades de operações agrícolas de preparos empregados no solo, como o trabalho de Silva-Olaya et al. (2013) e de Krištof et al. (2014). Silva-Olaya et al. (2013) avaliaram emissões de CO₂ sob preparo convencional (gradagem e subsolagem), preparo mínimo (subsolagem) e preparo reduzido (subsolagem na linha de plantio) durante a renovação do canavial, no Sul do Brasil. Krištof et al. (2014) estudaram sistemas de preparo, como o plantio direto e o preparo reduzido (arado), na emissão de CO₂, e verificaram que a intensidade do preparo resultou no aumento da taxa de emissões de CO₂ para a atmosfera. Iamaguti et al. (2015), estudando a emissão de CO₂ em Latossolo, observaram que o solo submetido ao preparo convencional (gradagens) apresentou maiores emissões de CO₂ do que o solo sob preparos com subsolagem convencional (subsolagem em área total) e localizado (subsolagem apenas na linha de plantio), embora estes últimos não tenham diferido entre si. O mesmo foi observado por La Scala et al. (2006), em estudo conduzido em Latossolo, os quais concluíram que os sistemas de preparo convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador) contribuíram para aumentos da emissão de CO₂ quando comparados com o solo sem distúrbio.

A T_{solo} e a U_{solo} apresentaram comportamento semelhante na escarificação em linha de plantio e em área total, nas quais após à escarificação, a T_{solo} aumentou em média 28,77 °C no 2º dia após a escarificação e foi reduzindo até o 6º dia (24,93 °C) (Figura 2.3), e a partir deste dia estabilizou-se até o 10º dia, com variações ao longo dos dias até o final das avaliações. O aumento na T_{solo} no 2º dia após a escarificação pode ser explicado devido ao aumento da temperatura ambiente (27,87 °C) e redução no 6º dia de avaliação após a operação de escarificação (23,77 °C). Além disso, esse aumento pode ter ocorrido devido à exposição do solo pela desagregação do solo.

Cabe ressaltar que, no presente estudo, a T_{solo} não foi correlacionada significativamente ($p > 0,05$) com a emissão de CO₂, quando analisadas as 10 médias diárias registradas após a operação de escarificação. Possivelmente, isto ocorreu devido ao efeito da chuva após o 5º dia após a escarificação, a qual influenciou maiores variações na emissão de CO₂, mascarando o efeito inicial da T_{solo} sobre a umidade (Figura 2.3). E também devido à temperatura não ser normalmente limitante em regiões tropicais. La Scala et al. (2006), em estudo conduzido em Latossolo com sistemas de preparo convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador), também

não encontraram correlação entre essas variáveis. Todavia, em ambientes temperados, é encontrada correlação entre a T_{solo} e a emissão de CO_2 . Ussiri e Lal (2009), estudando as práticas de preparo do solo (arado de aiveca, escarificador e plantio direto) sobre as emissões de CO_2 , com 23 leituras após operações agrícolas de preparo, observaram correlação positiva entre a emissão de CO_2 e T_{solo} . Reicosky e Archer (2007), avaliando preparos do solo com o uso do arado de aiveca, não encontraram correlação significativa entre a emissão de CO_2 e a T_{solo} , em 21 dias de avaliação após operações agrícolas de preparo.

Os valores de T_{solo} ($F = 0,00$; $p > 0,01$) e U_{solo} ($F = 1,04$; $p > 0,01$) não foram afetados pela escarificação na linha de plantio e em área total (Figura 2.3). No entanto, quando avaliado o comportamento destes atributos ao longo dos dias após a escarificação, observou-se o maior valor médio de T_{solo} no 2º dia (28,77 °C) e o menor valor médio no 11º dia (24,12 °C). Em relação à T_{solo} , comportamento semelhante também foi observado por Iamaguti et al. (2015).

Variações na T_{solo} , nos primeiros dias após a operação de escarificação, possivelmente estão associadas à maior amplitude térmica propiciada pelas condições do solo submetidos às escarificações. A U_{solo} foi, em média, maior (27,65 %) antes de o solo ser mobilizado e diminuiu nos primeiros dias após a operação de escarificação. A partir do 6º dia, observaram-se oscilações na umidade do solo devido aos eventos de precipitação na área (Figura 2.3). Nos dias 10º, 11º e 12º após a operação de escarificação, foram observados os maiores valores médios da U_{solo} em decorrência da chuva (Figura 2.3). Iamaguti et al. (2015), em estudo similar, também não encontraram diferença entre os valores médios da U_{solo} no solo submetido ao preparo com subsolagem convencional (área total), preparo convencional (2 gradagens) e subsolagem localizada (linha de plantio). Embora não tenha sido observado, neste estudo, correlação entre a emissão de CO_2 e a U_{solo} , de modo geral, dependendo da umidade no solo, a emissão de CO_2 pode ser tanto favorecida quanto inibida (SCHWARTZ et al., 2010). Para os mesmos autores, isto ocorre porque a umidade afeta tanto a atividade microbiana quanto a difusão de gases no solo.

Variabilidade temporal da emissão de CO₂ no Argissolo

A análise de variância de medidas repetidas no tempo, para a emissão de CO₂, não indicou significância ($F = 0,96$; $p > 0,01$) para as áreas submetidas à escarificação na linha de plantio e à escarificação em área total no Argissolo, indicando que a emissão de CO₂ apresentou o mesmo padrão de variabilidade quando a escarificação na linha de plantio e em área total foram comparadas (Figura 2.4). Porém, para os dias de avaliação, houve diferença significativa ($F = 16,26$; $p < 0,01$). A emissão de CO₂ foi menor no 2º dia de avaliação após a operação de escarificação em relação à emissão no solo antes da escarificação, devido à ocorrência de chuva (28 mm) na tarde do dia em que ocorreram as escarificações. Provavelmente, a redução na emissão de CO₂ ocorreu devido a aumentos da umidade do solo, decorrente da chuva, o que afetou a atividade microbiana pela redução de oxigênio. À medida que a água foi evaporando, a emissão de CO₂ aumentou em ambas as escarificações do 3º ao 6º dias. A partir do 8º dia, observou-se oscilações na emissão de CO₂, em decorrência das chuvas que ocorreram no final do período de avaliações. Este fato pode ser explicado devido ao Argissolo apresentar textura mais arenosa na camada superficial e mais solta, favorecendo a reorganização das partículas no solo (BRAGA et al., 2015). Em relação aos dias de avaliação (tempo), ressalta-se que a similaridade entre o solo submetido à escarificação na linha de plantio e a escarificação em área total em relação à emissão de CO₂, pode ter ocorrido devido às características do Argissolo (Figura 2.4). Solos com textura arenosa apresentam maior organização entre as partículas, além de apresentarem menores volumes de poros, sendo mais resistentes a forças externas (BRAGA et al., 2015).

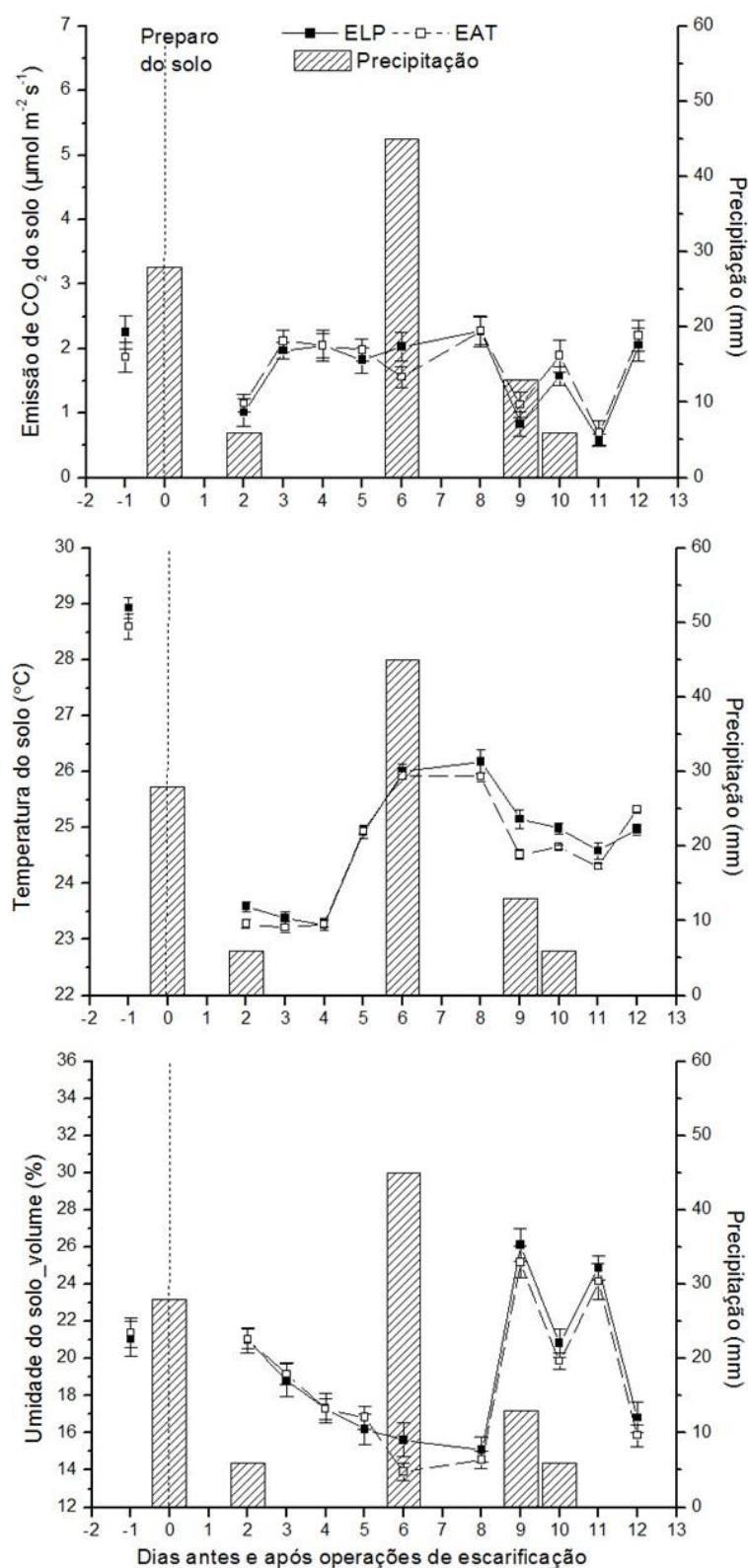


Figura 2.4. Médias $\pm$ erro-padrão da emissão de CO₂, temperatura, umidade do solo e precipitações ocorridas no período de estudo, após a escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT) no Argissolo.

Para a T_{solo} , houve significância da interação entre a escarificação na linha de plantio e em área total e os dias de avaliações ($F = 3,20$; $p < 0,01$) (Figura 2.4). Observou-se redução na temperatura no 2º, 3º e 4º dias após a escarificação na linha de plantio e em área total, devido à precipitação de 28 mm na tarde em que ocorreu a escarificação do solo, e de 6 mm no 2º dia após a operação de escarificação, com aumentos posteriores, devido, provavelmente, à temperatura ambiente, que foi de 24,31 no 2º dia, de 25,29 no 3º dia e de 28,15 no 4º dia de avaliação após a escarificação. Silva-Olaya et al. (2013), em Latossolo, verificaram que a T_{solo} diferiu durante todo o período de avaliação entre todos os sistemas de preparo do solo. Os autores observaram menores T_{solo} (22,7 °C) submetidos ao sistema de preparo mínimo (eliminação química + subsolador) e maiores no solo submetido ao preparo convencional (grade + subsolador) (23,6 °C) e no plantio direto (23,2 °C). A mobilização do solo, devido às operações agrícolas de preparo, altera a relação entre o volume de ar e o volume das partículas do solo (SILVA-OLAYA et al., 2013). Para os mesmos autores, as operações agrícolas de preparo induziram alterações na condutividade térmica do solo, afetando consequentemente sua temperatura. O aumento da T_{solo} acelera a decomposição da matéria orgânica e aumenta a atividade microbiana e de raízes, afetando significativamente a emissão de CO_2 , durante e entre os dias (SILVA-OLAYA et al., 2013).

A U_{solo} não foi influenciada pela escarificação na linha de plantio e em área total ($F = 2,28$; $p > 0,05$), porém indicou significância para o tempo ($F = 57,07$; $p < 0,01$); portanto, o tempo de avaliação influenciou a U_{solo} (Figura 2.4). Observou-se que a U_{solo} foi maior no 2º dia após a operação de escarificação, ficando com valores semelhantes ao solo antes da escarificação. Em seguida, verificou-se redução na U_{solo} até o 6º dia após a operação de escarificação, com oscilações a partir deste, devido ao efeito dos eventos de precipitações. Em média, a maior umidade no solo ocorreu no 8º (25,66%) e 10º (24,53%) dias após a escarificação na linha de plantio e em área total, devido às precipitações de 45 e 13 mm que ocorreram no 6º e 9º dias após a escarificação.

A análise de regressão linear entre a emissão de CO_2 e a U_{solo} no Argissolo foi significativa no solo submetido à escarificação na linha de plantio ($R^2 = 0,86$; $p < 0,01$) e no solo submetido à escarificação em área total ($R^2 = 0,58$; $p < 0,01$), indicando que

86 e 58% da variabilidade da emissão de CO_2 podem ser explicadas pelo modelo envolvendo a umidade presente no solo sob escarificação na linha de plantio e escarificação em área total, respectivamente (Figura 2.5). Provavelmente, esse resultado deve-se à precipitação na área ao longo dos 11 dias de avaliação. Assim, quanto maior a umidade do solo, o fluxo de gases do mesmo é reduzido (LIER, 2001). Resultado similar foi verificado por Costa et al. (2008), avaliando a emissão de CO_2 na camada superficial (0 a 0,05 m), em Argissolo submetido ao preparo convencional (aração + gradagem) e plantio direto.

Por outro lado, não foram encontrados modelos lineares ou quadráticos significativos ($p > 0,05$) entre a emissão de CO_2 e a T_{solo} , na escarificação na linha de plantio e em área total. O efeito da T_{solo} sobre a emissão de CO_2 pode ser parcialmente camuflado pelo efeito da U_{solo} , uma vez que U_{solo} e T_{solo} são variáveis interdependentes e comumente se alteram simultaneamente (DING et al., 2010).

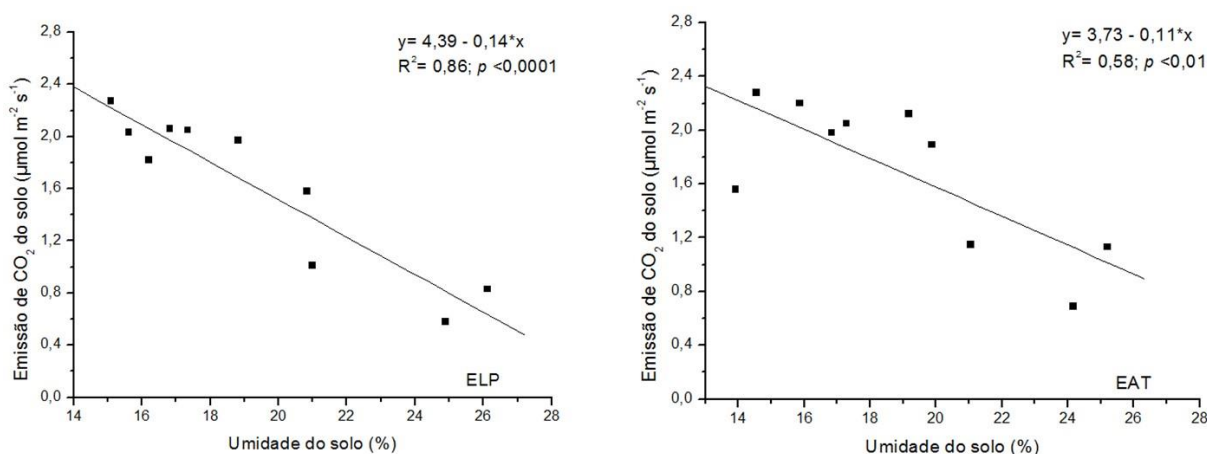


Figura 2.5. Regressão linear entre emissão de CO_2 e a umidade do solo no Argissolo sob escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Emissão total de CO_2 de Latossolo e Argissolo sob escarificação na linha de plantio e escarificação em área total

O Latossolo submetido à escarificação na linha de plantio emitiu menos CO_2 ($1.042,6 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$), durante um período de 12 dias de avaliação, quando comparado à escarificação em área total ($1.336,3 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) (Figura 2.6). Tal

resultado, possivelmente, deve-se ao fato de que o solo submetido à escarificação apenas na linha de plantio apresenta menor área mobilizada do solo e maior proteção física da matéria orgânica. Desta forma, como ocorreu menor área desagregada do solo por meio da escarificação na linha de plantio, ocorreram também menores perdas de carbono na forma de CO_2 (C-CO_2), devido à possível proteção de CO ao ataque microbiano. Assim, operações agrícolas de preparo que proporcionem menor perda de carbono na forma de CO_2 , têm maior capacidade de manter o carbono no solo, quando comparadas a operações agrícolas de preparo que favorecem maiores perdas de carbono, além de aumentar o potencial de mitigação desse gás (COSTA et al., 2008). Iamaguti et al. (2015) observaram que o Latossolo submetido ao preparo convencional apresentou maiores valores de emissão total de CO_2 ($2.864,3 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) quando comparado ao solo sob subsolagem convencional ($1.970,9 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) e subsolagem localizada ($1.707,7 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$), em um período de 8 dias de avaliação.

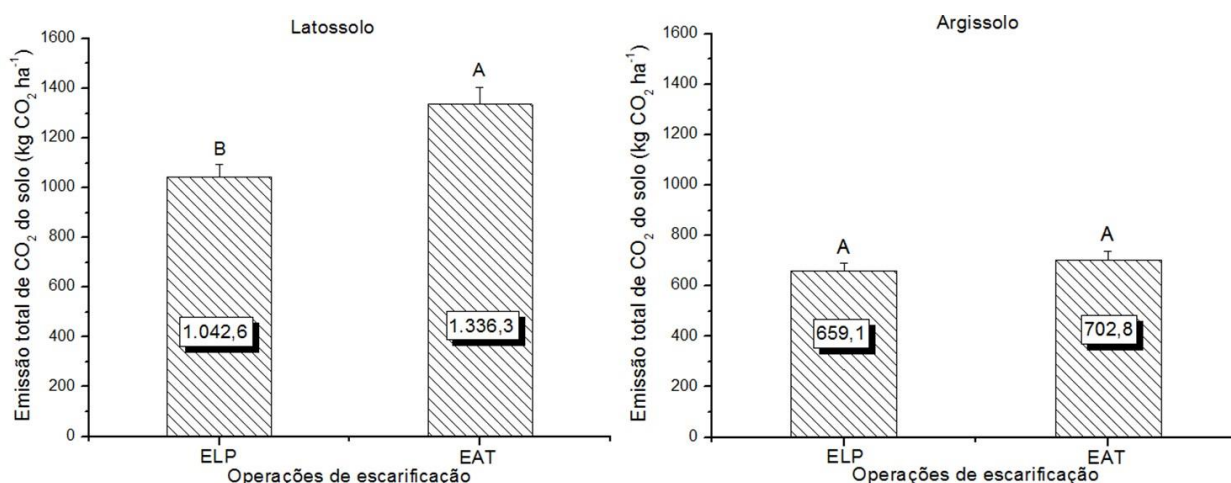


Figura 2.6. Emissão total de CO_2 do solo, na escarificação em linha de plantio (ELP) e em escarificação em área total (EAT) avaliados ao longo dos 12 e 11 dias de estudo após as escarificações no Latossolo e no Argissolo.

O Latossolo apresentou, em média, altos valores de diâmetro médio ponderado (3,46 mm), proporcionando maior macroporosidade e maior proteção física do carbono orgânico. Determinaram-se também maiores valores médios de porosidade total, microporosidade e carbono orgânico, e menores valores de densidade do solo, favorecendo um ambiente propício à atividade dos microrganismos. Além disso, alguns meses antes da operação de escarificação no Latossolo, ocorreu a eliminação

mecânica da soqueira, o que pode ter favorecido a maior desagregação neste solo após o preparo com escarificador, e como consequência propiciou maiores perdas de carbono pela atividade microbiológica.

No Argissolo, a emissão total de CO₂ durante o período de avaliação foi semelhante na escarificação em linha de plantio e em área total (ELP = 659.1 kg CO₂ ha⁻¹ e EAT = 702.8 kg CO₂ ha⁻¹) (Figura 2.6). Solos com 540 g kg⁻¹ de areia favorecem a aeração, propiciam altas temperaturas e apresentam deficiência na proteção física dos agregados (SILVA et al., 2005). Segundo esses autores, isso ocorre devido ao fato de solos com esse teor de areia favorecerem a decomposição da matéria orgânica. Além disso, quando a densidade do solo é alta, ocorre redução na difusão do CO₂ no solo, pois nessa condição a porosidade é reduzida, limitando o fluxo de gases (SHESTAK; BUSSE, 2005). Esse diferente comportamento observado no Argissolo deve-se, provavelmente, ao maior teor de areia (809,30 g kg⁻¹) e maior densidade do solo (Tabela 2.1).

Neste experimento, o Argissolo apresentou, em média, altos valores de densidade do solo e menores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade (Tabela 2.1). Isso explica menores emissões de CO₂ no Argissolo, pois maiores valores de densidade do solo e baixa porosidade total favorecem um ambiente com pouca oxigenação, limitando a atividade microbiana no solo. Nessas condições, ocorre diminuição de até um terço na quantidade de microrganismo no solo (bactérias, fungos e actinomicetos), o que contribui para a redução na emissão de CO₂ (LI et al., 2002). Novara et al. (2012), estudando a emissão de CO₂ em diferentes texturas, verificaram diminuição de um terço na emissão de CO₂ quando a densidade do solo atingiu 1,5 g cm⁻³ em solo de textura arenosa. Além disso, o teor de carbono orgânico que serve como fonte de energia para os microrganismos foi baixo no Argissolo (Tabela 2.1), o que favorece a redução dos microrganismos e, consequentemente, ocorre redução da emissão de CO₂ pela perda de carbono. A matéria orgânica é protegida fisicamente pelos agregados do solo, porém com práticas agrícolas que mobilizam o solo, ocorre a exposição da matéria orgânica, promovendo redução de CO na superfície do solo (LOSS et al., 2015).

Conclusões

No Latossolo, a emissão de CO₂ foi menor no solo sob preparo com escarificação somente na linha de plantio do que no solo sob preparo com escarificação em área total.

No Argissolo, a emissão de CO₂ não diferiu em função do preparo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UNESP / Jaboticabal, pelo doutorado; à CAPES, pelo suporte financeiro; à FAPESP, pelo auxílio financeiro (processo nº 2014/14490-2), que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Referências

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: **ASAE Standards 1997: Standards Engineering Practices Data**, St. Joseph, 1997. p. 254–75.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677–683, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-204X2004000700009>>.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em toposequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1025–1035, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/01000683rbc20140724>>.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3–22, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.geoderma.2004.03.005>>.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim Informativo de Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 40–44, 2007.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 323–332, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-06832008000100030>>.

DING, W.; YU, H.; CAI, Z.; HAN, F.; XU, Z. Responses of soil respiration to N fertilization in a loamy soil under maize cultivation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 381–389, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.geoderma.2009.12.023>>.

CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2nd ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. p. 212.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. **Estimating greenhouse gas emissions in agriculture: A manual to address data requirements for developing countries**. Available in: <<http://www.fao.org/3/a-i4260e.pdf>>. Access: 20 aug. 2016.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 123–131, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.still.2005.05.001>>.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 497–504, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p497-504>>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. 1981. São Paulo, Brazil. 1981. p. 94.

JACKSON, M. L. Soil Chemical Analysis. 2ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, NJ, USA, 1985.

KRIŠTOF, K.; ŠIMA T.; NOZDROVICKÝ, L.; FINDURA, P. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. **Agronomy Research**. v. 12, p. 115–120, 2014.

LA SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugarcane area in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.still.2005.11.012>>.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 60, p. 158–169, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>>.

LI, X.; INUBUSHI, K.; SAKAMOTO, K. Nitrous oxide concentrations in Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 108–113, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1007/s00374-002-0447-7>>.

LIER, Q. J. V. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 233–238, 2001. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-06832001000100025>>.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1212–1224, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/01000683rbcs20140718>>.

MELLO, F. F.; CERRI, C. E.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbon and sugarcane ethanol. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 605–609, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1038/nclimate2239>>.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removed from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**; 7: 1317-1327, 1960.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1720–1728, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-06832013000600028>>.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: Dane, J.H., and G.C. Topp. (eds.). 2002. Methods of soil analysis. Part 4. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 5, p. 317–328, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi:10.2136/sssabookser5.4.c14>>.

NOVARA, A.; ARMSTRONG, A.; GRISTINA, L.; SEMPLE, K. T.; QUINTON, J. N. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 994–999, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1002/esp.3224>>.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.still.2010.10.002>>.

PERECIN, D. Experimentação com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico; 2008. p. 809–819.

PERECIN, D.; FERRAUDO, G. M.; AZANIA, C. A. M.; SCHIAVETTO, A. R. Statistical analysis for correlated paired-plot designs. **American Journal of Experimental Agriculture**, Wilmington, v. 9, p. 1–7, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.9734/AJEA/2015/20722>>.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2011. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

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

2007. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.still.2006.07.004>>.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Propriedades físicas de solo em diferentes sistemas de preparo para o cultivo da batata-doce. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 227–238, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-06832013000100025>>.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, p. 107–119, 2003. Disponível em: < [http://dx.doi:10.1016/S0167-1987\(02\)00160-5](http://dx.doi:10.1016/S0167-1987(02)00160-5)>.

SAS Institute. SAS – **Statistical Analysis System: system for elementary statistical analysis**. Cary, SAS Institute. 1987. p. 416.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPO, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, p. 81–91, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi:10.4155/cmt.13.77>>.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, p. 221–229, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.still.2010.07.015>>.

SHESTAK, C. J.; BUSSE, M. D. Compaction alters physical but not biological indices of soil health. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 236–246, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi:10.2136/sssaj2005.0236>>.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 544–552, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0103-84782005000300009>>.

SILVA, E. F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 885–898, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-69162014000500008>>.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically

harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, p. 1–8, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1088/1748-9326/8/1/015014>>.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, p. 555–569, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi:10.2136/sssaj2004.0347>>.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 779–791, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1046/j.1351-0754.2003.0567.x>>.

TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 195–203, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0103-90162013000300008>>.

TEIXEIRA, L. G.; LA SCALA JR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **Holos Environment**, v.10 n.1, p. 1-11, 2010.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A.; LA SCALA JR, N. Temporal variability of soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 224–231, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-69162010000200004>>.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467–1476, 1988. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1080/00103628809368027>>.

XIE, S. P.; DESER, C.; VECCHI, G. A.; COLLINS, M.; DELWORTH, T. L.; HALL, A.; HAWKINS, E.; JOHNSON, N. C.; CASSOU, C.; GIANNINI, A.; WATANAB, M. Towards predictive understanding of regional climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 921–930, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1038/nclimate2689>>.

USSIRI, 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, p. 39–47, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2008.11.008>>.

CAPÍTULO 3 - Emissão de CO₂ associada à porosidade do solo após reforma do canavial em Latossolo e Argissolo

RESUMO - Com este estudo, objetivou-se caracterizar a emissão de CO₂, associada à distribuição de poros, em Latossolo e em Argissolo, submetidos à escarificação na linha de plantio e escarificação em área total para o plantio da cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas grandes pareadas. Os tratamentos utilizados consistiram de escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo, localizados nos municípios de Guariba e Monte Alto, respectivamente. Avaliaram-se a emissão de CO₂, a temperatura e a umidade do solo ao longo de 12 dias no Latossolo e em 11 no Argissolo, na camada de 0-0,10 m de profundidade. Também foram avaliados o carbono orgânico associado aos minerais e o carbono orgânico particulado. O carbono orgânico associado aos minerais (COAM), classe de poro C2 ($0,05 \leq \phi < 0,1$ mm), umidade e temperatura do solo explicam 72% e 53% da variabilidade da emissão de CO₂ no solo sob ELP e sob EAT, respectivamente. No Argissolo, o C1 ($\phi \geq 0,1$ mm) e o COAM explicaram 82% da variabilidade da emissão de CO₂ no solo sob ELP. No solo sob EAT, a umidade do solo, COAM e COP explicaram 67% da variabilidade da emissão de CO₂. No Latossolo, a escarificação em linha de plantio e em área total afetaram a estrutura do solo, causando mudanças na porosidade e alterações na emissão de CO₂ do solo. No Argissolo, a escarificação em linha de plantio e em área total não afetaram a emissão de CO₂.

Palavras-chave: carbono, distribuição de poros, escarificação, temperatura do solo e umidade do solo.

Introdução

A agricultura é apontada como uma importante fonte de emissão de CO₂ para a atmosfera (IPCC, 2014), destacando-se as práticas agrícolas relacionadas às mudanças no uso e manejo do solo que contribuem para a elevação na concentração desse gás (CERRI et al., 2007; IAMAGUTI et al., 2015). O CO₂ é o gás, entre os principais gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O), que mais contribuiu para o efeito estufa adicional nos últimos 200 anos (IPCC, 2007).

O processo de emissão de CO₂ do solo está associado à atividade microbiana, respiração das raízes, decomposição dos resíduos vegetais e oxidação da matéria orgânica do solo (LAL, 2009). Este processo varia em função da textura, estrutura, temperatura e umidade do solo (KANG et al., 2000; USSIRI; LAL, 2009).

As operações agrícolas afetam os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010). Contudo, nos estudos que avaliam a emissão de CO₂ nas áreas agrícolas, atributos do solo como macro e microporosidade (PANOSSO et al., 2011), teor de matéria orgânica (LAL, 2009) e carbono orgânico (COSTA et al., 2008; LAL, 2009) ganham destaque por afetarem diretamente a dinâmica da emissão, uma vez que controlam tanto a produção quanto o transporte do CO₂ no interior do solo (LA SCALA et al., 2009).

A concentração de CO₂ nos poros do solo é mais elevada do que na atmosfera, e isto está associado à atividade respiratória no solo, decorrente da respiração radicular, responsável por 20% desse aumento na concentração de CO₂, e da atividade biológica do solo, que corresponde a 80% desse valor (MELILLO et al., 2002).

Sistemas de preparo que revolvem o solo, como o preparo convencional, contribuem para aumentos nas emissões de CO₂ para atmosfera (LA SCALA et al., 2006; IAMAGUTI et al., 2015). Os agregados do solo desempenham um papel fundamental para determinar o estado de aerobiose ou anaerobiose do solo (LIPIEC et al., 2007), o que afeta a produção e a liberação de gases de efeito estufa do solo (MANGALASSERY et al., 2013). Portanto, a desagregação do solo, decorrente do revolvimento durante o preparo, interfere na emissão de CO₂.

Diante dessas constatações, preparos menos intensos do solo, como o reduzido e o plantio direto, em áreas de produção agrícola, estão substituindo o preparo mais intenso do solo, a exemplo do convencional (MAZURANA et al., 2011). Portanto, estudos abordando o uso de escarificação na linha de plantio, proporcionando menor mobilização do solo são promissores na redução da emissão de CO₂ decorrente da desagregação do solo. Dessa forma, destaca-se a escarificação somente na linha de plantio, em substituição à escarificação em área total, visando à redução da emissão de CO₂, contribuindo com a questão ambiental, que é destaque mundial.

A escarificação promove a desagregação do solo a 30 cm de profundidade. Nesta operação ocorre a movimentação do solo para o lado, para frente e para cima, favorecendo a ruptura dos agregados do solo. Com a ruptura ocorre a exposição do carbono orgânico antes protegido nos agregados do solo, tornando um ambiente com boa oxigenação para a atividade microbiana. O carbono é fonte de energia para os microrganismos, e sua decomposição favorece a perda de carbono do interior do solo para atmosfera. Teixeira et al. (2010), estudando o fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação, verificaram que o solo submetido ao arado de disco e grade niveladora foi o que mais emitiu CO₂ (260,7 g CO₂ m⁻²) no período de 14 dias de avaliação quando comparado ao solo submetido a escarificação sem rolo destorroador (82,3 g CO₂ m⁻²).

Estudos que abordam a dinâmica da emissão de CO₂ associada à distribuição de poros do solo são incipientes em Latossolos (MANGALASSERY et al., 2013) e em Argissolos (MANGALASSERY et al., 2013). Para esses autores, tanto a textura quanto o tamanho dos agregados influenciam na emissão de CO₂ do solo para a atmosfera. Tal fato destaca a importância de se compreender como a escarificação na linha de plantio que mobilizam o solo com menor intensidade impactam diretamente sobre a emissão de CO₂, por meio de avaliações nos atributos do solo. Diversas características dos poros (tamanho, continuidade e forma) interferem no transporte de gases (LUO et al., 2010) e na atividade microbiológica do solo (MANGALASSERY et al., 2013). Estas características dos poros são afetadas pela textura do solo (MOONEY; MORRIS, 2008) e pelas atividades agrícolas relacionadas ao manejo do solo (ZHOU et al., 2008).

Diante do exposto, este trabalho testa a hipótese de que a escarificação em linha de plantio e em área total interferem diretamente na estrutura do solo, alterando sua porosidade e causando alterações na emissão de CO₂ do solo. O objetivo deste estudo foi caracterizar a emissão de CO₂, associada à distribuição de poros, em Latossolo e em Argissolo, submetidos à escarificação na linha de plantio e à escarificação em área total para o plantio da cana-de-açúcar.

Material e Métodos

Caracterização das áreas de estudo

O experimento foi realizado em duas áreas agrícolas, localizadas próximos às coordenadas geográficas 21° 24' de latitude sul e 48° 12' de longitude oeste, e com altitude média de 618 m, caracterizada como Latossolo, na cidade de Guariba, e 21° 15' de latitude sul e 48° 25' de longitude oeste, com altitude média de 735 m, caracterizada como Argissolo, na cidade de Monte Alto, ambas no Estado de São Paulo, Brasil. A distância entre as áreas é de aproximadamente 27 km.

O clima da região onde estão localizadas as áreas experimentais, segundo a classificação de Köppen, é Aw, tipo mesotérmico com inverno seco, com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18° C. A precipitação média anual é de 1.400 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro. As duas áreas foram destinadas à produção de cana-de-açúcar por mais de 20 anos. Em ambas as áreas, o sistema de colheita antes e depois de 2004 era realizado de forma mecanizada.

A caracterização da textura dos solos foi realizada por meio da análise granulométrica, na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, de acordo com Claessen (1997). O Latossolo apresenta 550 g kg⁻¹ de argila, 392 g kg⁻¹ de areia e 58 g kg⁻¹ de silte, e o Argissolo, 130 g kg⁻¹ de argila, 809 g kg⁻¹ de areia e 61 g kg⁻¹ de silte. O teor de carbono orgânico (CO) no Latossolo e no Argissolo foi em média de 17,94 g kg⁻¹ e 7,00 g kg⁻¹, respectivamente. O Latossolo apresenta densidade do solo (Ds) de 1,24

g cm⁻³, diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) de 3,46 mm, porosidade total (Pt) de 0,53 m³ m⁻³, macroporosidade (MACRO) de 0,15 m³ m⁻³, microporosidade (MICRO) de 0,38 m³ m⁻³. O Argissolo apresenta Ds de 1,71 g cm⁻³, DMP de 1,72 mm, Pt de 0,32 m³ m⁻³, MACRO de 0,07 m³ m⁻³ e MICRO de 0,25 m³ m⁻³. O Latossolo está localizado próximo à transição arenito-basalto, sendo o arenito Vale do Rio do Peixe, antigo Grupo Bauru Formação Adamantina, e o basalto da Formação Serra Geral (IPT, 1981). A geologia do Argissolo é o arenito Vale do Rio do Peixe, antigo Grupo Bauru Formação Adamantina. O Latossolo apresenta relação caulinita(Ct)/gibbsita(Gb) de 0,50, apresenta teores de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_{DCB}) de 80,32 g kg⁻¹. O Argissolo apresenta relação caulinita(Ct)/gibbsita(Gb) de 0,65, apresenta teores de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_{DCB}) de 18,5 g kg⁻¹ (JACKSON, 1985; MEHRA; JACKSON, 1960).

Delineamento experimental e escarificação conduzidas nas áreas

O delineamento experimental foi realizado em parcelas grandes pareadas (PERECIN, 2008, PERECIN et al., 2015). Os tratamentos utilizados consistiram em escarificação na linha de plantio e escarificação em área total.

Antes da escarificação do solo, ocorreu a eliminação mecânica da soqueira da cana-de-açúcar no mês de novembro de 2014, na área de Latossolo, por meio de um eliminador mecânico de soqueira, e a eliminação química da soqueira, na área de Argissolo, no mês de janeiro de 2015, utilizando glifosato na dose de 4 L ha⁻¹. No Latossolo, foram aplicados como corretivos 1,5 t ha⁻¹ de calcário e 1 t ha⁻¹ de gesso no mês de dezembro de 2014. No Argissolo, foram aplicados como corretivos 3,0 t ha⁻¹ de calcário e 1 t ha⁻¹ de gesso no mês de janeiro de 2015.

Na área de Latossolo, a escarificação em linha de plantio e em área total foram realizadas em 31 de janeiro de 2015, com a umidade do solo igual a 0,18 g g⁻¹. Na área de Argissolo, a escarificação em linha de plantio e em área total ocorreu em 17 de fevereiro de 2015, com a umidade do solo igual a 0,11 g g⁻¹.

A escarificação do solo na linha de plantio (ELP) ocorreu com utilização de escarificador com dois pares de hastes espaçados em 1,5 m (considerando-se o

centro de cada par de hastes), devido ao espaçamento de plantio da cana-de-açúcar, com dois rolos destorreadores. A distância entre as hastes que compõem cada par é de 0,50 m. A escarificação do solo em área total (EAT) foi realizada com escarificador com cinco hastes espaçadas em 0,50 m, com dois rolos destorreadores. Para os dois escarificadores, o comprimento da haste é de 0,8 m, e a ponteira possui 0,25 m de comprimento e 0,04 m de largura, que possibilitam a profundidade de trabalho de 0,30 m.

As áreas experimentais apresentam aproximadamente 10 ha (Latossolo) e 9 ha (Argissolo), sendo cada área composta por 20 parcelas, sendo 10 parcelas para cada escarificação avaliada, nas quais cada parcela mediu aproximadamente 0,50 ha no Latossolo e 0,45 ha no Argissolo.

Determinação dos atributos do solo para a caracterização da área de estudo

Após a escarificação, coletaram-se amostras de solo na camada de 0,0-0,10 m de profundidade. As amostras deformadas foram coletadas com auxílio de um trado tipo holandês e utilizadas para a determinação do carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e carbono orgânico particulado (COP) (CAMBARDELLA; ELIOT, 1992). As amostras indeformadas foram coletadas com o trado tipo Uhland, utilizando-se de anéis volumétricos (0,05 m x 0,05 m) e utilizadas para a determinação da macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) do solo (CLAESSEN, 1997) e distribuição de poros por tamanho.

Coletaram-se duas amostras em cada parcela, sendo uma na linha e outra na entrelinha da cultura de cana-de-açúcar. Os valores apresentados foram decorrentes da média de 20 observações, ou seja, das amostras coletadas na linha e na entrelinha da cultura em cada uma das 10 parcelas experimentais.

Para a determinação da distribuição de poros por tamanho, foi utilizada a relação entre a tensão (0, 30, 60 e 80 cm de coluna de água) da água retida em tubos capilares, e o diâmetro dos poros foi determinado por meio da seguinte equação:

$$d = \frac{0,3}{h}$$

em que: d = diâmetro dos poros, em mm, e o h = altura da coluna de água, equivalente à tensão aplicada, em cm de coluna de água (BRADY; WEIL, 2013).

O volume ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) equivalente ao diâmetro do poro em cada tensão aplicada foi obtido pela diferença entre o volume de água correspondente à tensão anterior aplicada e o volume correspondente à tensão aplicada dividido pelo volume total da amostra. Assim, foram determinadas quatro classes de poros. Sendo C1 ($\phi \geq 0,1 \text{ mm}$) e C2 ($0,05 \leq \phi < 0,1 \text{ mm}$), correspondentes aos macroporos, e C3 ($0,0375 \leq \phi < 0,05 \text{ mm}$) e C4 ($\phi < 0,0375 \text{ mm}$), correspondentes aos microporos.

Avaliação da emissão de CO_2 , temperatura e umidade do solo

Para as avaliações da emissão de CO_2 do solo, em cada área experimental, foram demarcados 40 pontos (20 na área com ELP e 20 na área com EAT), e inseridos colares de PVC, sendo um colar na linha e outro na entrelinha de plantio da cana-de-açúcar, espaçados com distância mínima de 5 m. Os colares de PVC foram inseridos no solo antes da escarificação, retirados da área para a realização da escarificação e novamente inseridos no solo após a escarificação em linha de plantio e em área total, mantendo-se os mesmos pontos, que foram georreferenciados quando inseridos no solo pela primeira vez. Assim, os valores foram decorrentes da média da emissão de CO_2 avaliada na linha e na entrelinha da cultura antes do plantio e antes da sulcação da cana-de-açúcar.

Na área de Latossolo, foi realizada uma leitura antes da escarificação (18 de janeiro de 2015) e foram conduzidas 10 avaliações após, compreendidas em um período total de 12 dias após as escarificações do solo (1; 2; 3; 5; 6; 7; 8; 10; 11 e 12 de fevereiro de 2015). Na área de Argissolo, também foi realizada uma leitura antes da escarificação (1º de fevereiro de 2015) e foram conduzidas 10 avaliações após, compreendidas em um período total de 11 dias após as escarificações do solo (19; 20; 21; 22; 23; 24; 26; 27 e 28 de fevereiro e 1º de março de 2015). As avaliações foram realizadas sempre no período matutino, das 7 às 9 h. Não foram realizadas medições da emissão de CO_2 em dias com precipitações que coincidiram com o

horário das avaliações. Quando as precipitações ocorreram no período da tarde, as leituras da emissão de CO₂ foram realizadas.

A emissão de CO₂ do solo foi registrada utilizando-se do equipamento LI-COR (LI-8100A), Nebraska EUA, que consiste em uma câmara fechada com volume interno de 854,2 cm³ e área de contato com o solo de 83,7 cm². A câmara foi acoplada sobre os colares de PVC com diâmetro de 0,10 m, com 0,05 m de altura e introduzidos 0,03 m no solo. O sistema monitora as variações na concentração de CO₂ dentro da câmara por meio de espectroscopia de absorção óptica, na região espectral do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). O período total de avaliação da emissão de CO₂, em cada ponto, foi de 90 s.

Simultaneamente às avaliações da emissão de CO₂, foram determinadas a temperatura (T_{solo}) e a umidade do solo (U_{solo}). A temperatura do solo foi monitorada por meio de um sensor de temperatura, com uma haste de 0,12 m, que foi introduzida no solo, próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC. A umidade do solo, avaliada na camada de 0,0-0,12 m, foi obtida utilizando-se de um aparelho TDR, Time Domain Reflectometry (Hydrosense TM, Campbell), inserido no solo próximo aos colares de PVC.

As precipitações, ocorridas durante o período das avaliações, foram obtidas por pluviômetros instalados nas áreas experimentais, com leituras realizadas diariamente. Para o Latossolo, durante o período de estudo, ocorreram eventos de precipitação na tarde do 4º (10 mm), 5º (35 mm), 6º (2 mm), 7º (6 mm), 8º (51 mm) e 11º (45 mm) dias após as escarificações, e no Argissolo, ocorreram eventos de precipitação na tarde do mesmo dia em que se realizaram as escarificações (28 mm) e no 2º (6 mm), 6º (45 mm), 9º (13 mm) e 10º (6 mm) dias após.

Processamento de dados e análise estatística

A comparação das médias dos atributos do solo foi realizada utilizando-se do intervalo de confiança de 95%, descrito por Gabriel (1978), e processadas no programa STATISTICA 7.0 (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, USA).

A análise de regressão múltipla foi realizada utilizando o sistema SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, CARY, NC, EUA, 1987). A análise de regressão múltipla foi realizada para cada escarificação, na linha de plantio e em área total, por meio do método “*stepwise*” de seleção de variáveis. Assim, este método foi aplicado em cada área com diferentes escarificações para diferentes subconjuntos de atributos, temperatura e umidade do solo. Neste método, foram utilizados 10% ($p = 0,10$) para o nível de significância de F, a fim de estabelecer a entrada ou a saída de uma variável, em um modelo.

Simultaneamente às análises estatísticas, as pressuposições básicas da análise de variância e regressão múltipla, normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias, aditividade e independência dos erros foram testadas para os atributos avaliados.

Resultados e Discussão

Emissão de CO₂ e atributos do Latossolo

O menor valor médio para a emissão de CO₂ ($2,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi observado no solo com escarificação na linha de plantio (ELP), e o maior ($3,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), no solo submetido à escarificação em área total (EAT) (Figura 3.1). Isso ocorreu porque a escarificação na linha de plantio mobilizou uma área menor de solo quando comparado à escarificação em área total, dificultando a difusão gasosa, a entrada de O₂ e a saída de CO₂ do solo. Assim, a exposição da matéria orgânica do solo (MOS) ao ataque microbiológico contribui com esse processo de aumento na mineralização da mesma (FUENTES et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010), principalmente em operações agrícolas que promovem maior mobilização do solo.

Em estudo realizado por Krištof et al. (2014) em solo argiloso, no qual avaliaram sistemas de preparo, como o plantio direto e o preparo reduzido (utilização de arado) na emissão de CO₂ eles constataram que a intensidade do preparo contribui para o aumento nas emissões de CO₂ do solo. La Scala et al. (2006), também observaram

em estudo conduzido sob Latossolo, que os sistemas de preparo convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador) favoreceram o aumento na emissão de CO₂ quando comparado ao solo sem revolvimento. Iamaguti et al. (2015), também em estudo conduzido sob Latossolo, observaram que o preparo convencional apresentou maior valor médio de emissão de CO₂ quando comparado ao solo sob preparo com subsolagem convencional e solo sob preparo com subsolagem localizada. Para esses autores, esse fato mostra que a emissão de CO₂ é um fenômeno complexo, no qual entender a caracterização da emissão é desafiador, devido à grande variabilidade desta variável.

A menor emissão de CO₂ no Latossolo sob ELP deve-se também ao fato de o carbono orgânico na área com ELP possuir menor taxa de decomposição, persistindo no solo por tempo superior quando comparado ao solo sob EAT. A menor taxa de decomposição pode ser explicada pelo fato de a ELP proporcionar menor área mobilizada, pois a escarificação ocorreu apenas na linha de plantio, o que favoreceu a menor desagregação do solo. Assim, o solo submetido a ELP apresenta maior capacidade de estocar e conservar carbono no solo, quando comparado ao solo submetido a EAT. Além disso, a EAT proporcionou maior desagregação do solo, desprotegendo o COP e favorecendo a atividade microbiana.

O COP diferiu em função da escarificação, no qual a área sob ELP apresentou menores (2,8 g kg⁻¹) teores de COP quando comparada à área sob EAT (4,8 g kg⁻¹) (Figura 3.2). Esse comportamento pode ter ocorrido devido à mineralização do carbono orgânico que estava prontamente oxidável na área sob EAT, cuja decomposição provoca o aumento da emissão de CO₂. Além disso, nos sistemas onde o solo é mobilizado com mais intensidade, a matéria orgânica fica distribuída na camada arável, favorecendo sua decomposição.

A escarificação na linha de plantio e a escarificação em área total não afetaram a temperatura do solo e a umidade volumétrica do solo (Figura 3.1), devido a temperatura e a umidade do solo não serem normalmente limitantes em regiões tropicais. A escarificação em linha de plantio e em área total não afetaram o COAM (Figura 3.2). Essa fração da matéria orgânica está ligada às partículas de silte e argila, sendo que esta está sobre proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996).

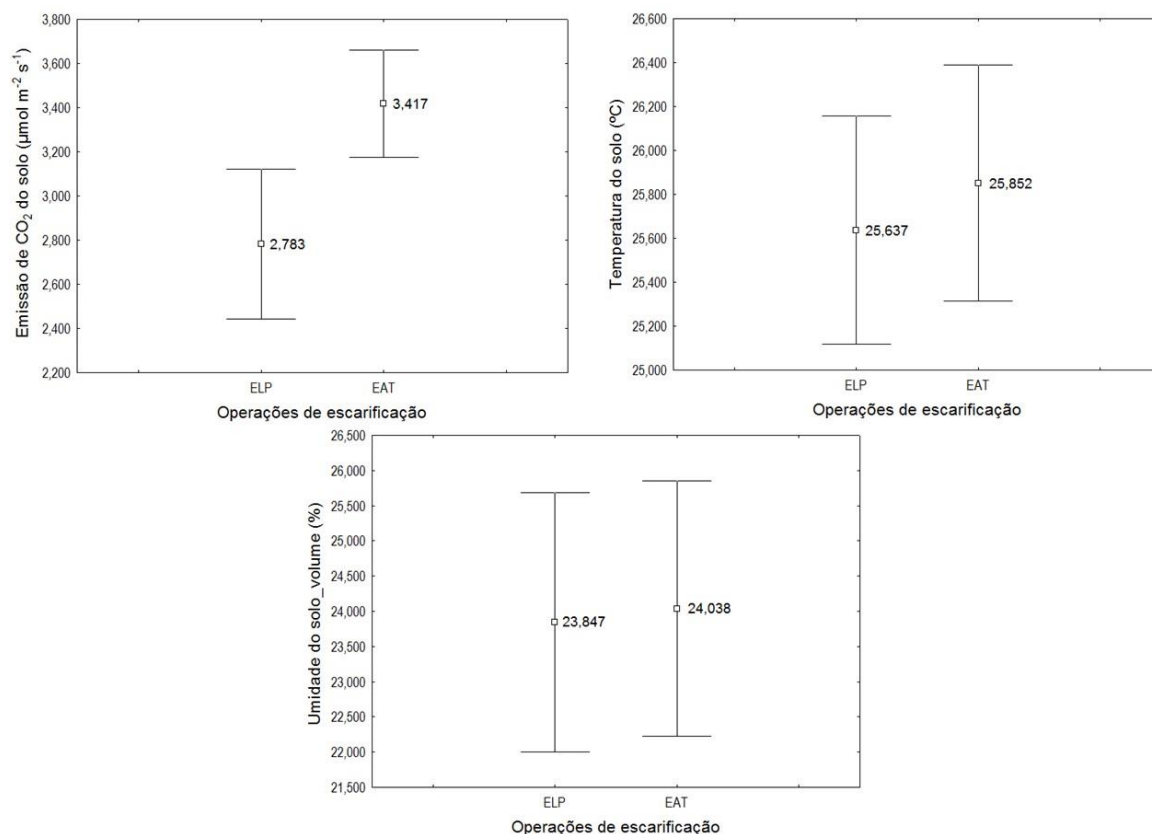


Figura 3.1. Valores médios de emissão de CO₂ do solo, temperatura do solo e umidade do solo em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e da escarificação em área total (EAT) no Latossolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

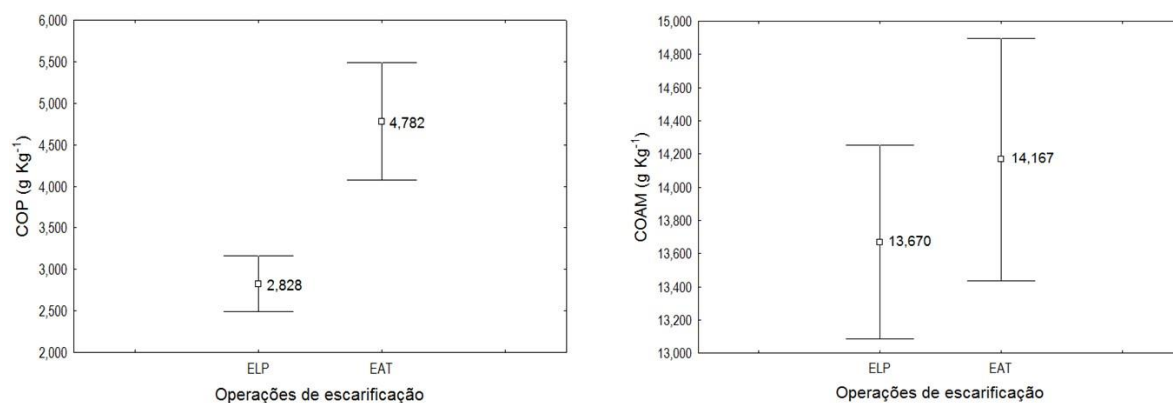


Figura 3.2. Valores médios de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e da escarificação em área total (EAT) no Latossolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou, inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

A escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT) não afetaram as classes de poros C1, C2 e C3 (Figura 3.3). A escarificação em linha de plantio e em área total não afetaram essas classes de poros. Porém, houve diferença estatística ($p < 0,05$) para a classe C4, na qual o menor valor médio ($0,332 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foi observado no solo sob ELP, quando comparado ao solo submetido à EAT ($0,395 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Figura 3.3).

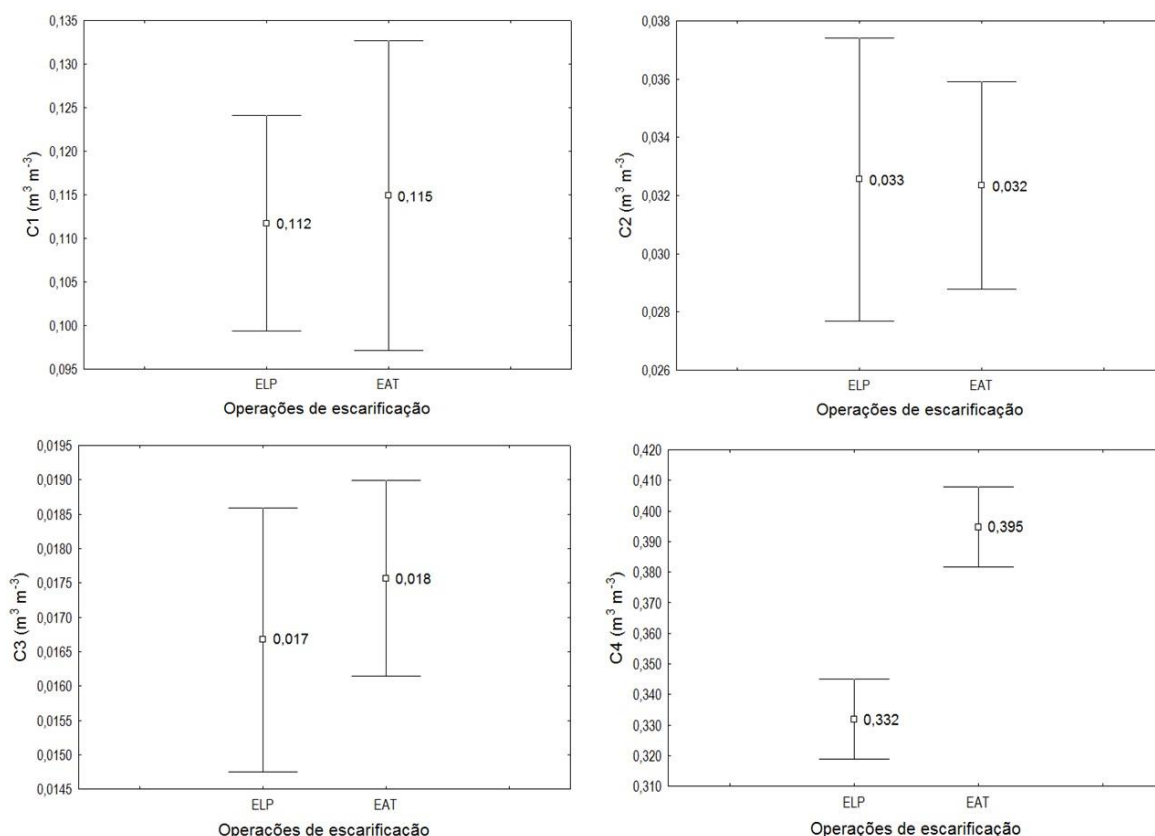


Figura 3.3. Valores médios do volume de água ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) correspondente a C1 ($\phi \geq 0,1 \text{ mm}$), C2 ($0,05 \leq \phi < 0,1 \text{ mm}$), C3 ($0,0375 \leq \phi < 0,05 \text{ mm}$) e C4 ($\phi < 0,0375 \text{ mm}$), em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT) no Latossolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou, inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

Esse resultado deve-se ao fato de ter ocorrido maior desagregação e, conseqüentemente, houve maior compressão das partículas do solo no EAT, no qual poros maiores foram desagregados e contribuíram para formação de poros pequenos.

Em solo argiloso que teve sua estrutura alterada, os espaços ocupados pelos poros grandes são afetados devido ao aumento da massa das partículas de solo por

unidade de volume (SOUZA; ALVES, 2003), favorecendo a formação de poros pequenos.

Observa-se no modelo de regressão múltipla que o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e o C2 explicam 72% da variabilidade da emissão de CO₂ ($R^2 = 0,72$) (Tabela 3.1), indicando que COAM e C2 governam a emissão de CO₂ no solo sob escarificação, na linha de plantio. Assim, os parâmetros estimados pela regressão múltipla para as variáveis COAM e C2 foram positivos, indicando que houve correlações individuais entre essas variáveis e a emissão de CO₂ na área sob ELP. Isto é, à medida que o COAM e o C2 aumentam a emissão de CO₂ também aumenta. O parâmetro positivo para essas variáveis pode estar ligado ao fato de poros grandes favorecerem aumento no fluxo de CO₂ no solo. A escarificação na linha de plantio propicia menor mobilização do solo, favorecendo a proteção do COAM e preservando os poros maiores como o C2. Esse resultado ocorreu devido a área que foi submetida a ELP ter preservado os poros grandes. Embora a COAM tenha menor exposição, os microrganismos estão atuando na sua decomposição, favorecendo a emissão de CO₂ através dos poros.

Tabela 3.1. Modelo de regressão múltipla da média da emissão de CO₂ do solo, em função dos atributos do solo na escarificação na linha de plantio (ELP) no Latossolo.

Atributo	Parâmetro	EP	<i>p</i>	R ²
Intercepto	-6,5844	1,86209	0,0054	
COAM	0,61845	0,12426	0,0006	0,5595
C2	33,82357	14,19456	0,0384	0,7190

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R² = coeficiente de determinação. COAM = carbono orgânico associado aos minerais; C2 ($0,05 \leq \phi < 0,1$ mm).

A escarificação em linha de plantio e em área total elevam inicialmente a emissão de CO₂, devido à desagregação do solo, o que favorece a mineralização do carbono que estava protegido fisicamente no interior dos agregados (SCHWARTZ et al., 2010). Segundo Singh e Gupta (1977), durante a decomposição da matéria orgânica, o carbono é o elemento básico usados pelos microrganismos. Assim, sistemas de manejo do solo que proporcionem redução na emissão de CO₂ apresentam maior potencial de preservação de carbono no solo, em comparação com sistemas de maior emissão de C-CO₂ (COSTA et al., 2008). Além disso, poros maiores favorecem um ambiente propício com alta oxigenação para produção de CO₂ pelos

microrganismos. Diferente do que ocorreu na escarificação em área total, que mobilizou uma área maior, criando ambientes favorável para atividade microbiana e propiciou a acomodação das partículas, favorecendo a formação de poros pequenos, embora estes não tenham governado a emissão de CO₂ no solo sob ELP.

No modelo de regressão múltipla para a área sob EAT, observa-se que a umidade do solo (U_{solo}) e a temperatura do solo (T_{solo}) explicam 53% da variabilidade da emissão de CO₂ ($R^2 = 0,53$) (Tabela 3.2). Isso ocorreu, devido a EAT proporcionar maior desagregação do solo fazendo com que a emissão de CO₂ fosse governada somente pela umidade e temperatura do solo. Observa-se que os parâmetros estimados nesta análise para as variáveis U_{solo} e T_{solo} também foram positivos, demonstrando que houve correlações individuais entre essas variáveis e a emissão de CO₂.

Tabela 3.2. Modelo de regressão múltipla da média da emissão de CO₂ do solo, em função dos atributos do solo na escarificação em área total (EAT) no Latossolo.

Atributo	Parâmetro	EP	<i>p</i>	R ²
Intercepto	-13,54845	5,21824	0,0267	
U_{solo}	0,10843	0,04438	0,0347	0,2826
T_{solo}	0,55328	0,16707	0,0079	0,5265

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R² = coeficiente de determinação. U_{solo} = umidade do solo; T_{solo} = temperatura do solo.

A emissão de CO₂ foi relacionada com a U_{solo} e T_{solo} somente na área sob EAT, devido esta operação de escarificação promover maior revolvimento do solo, afetando essas variáveis que estão diretamente relacionadas e que são sensíveis à modificação na estrutura do solo. Em estudo conduzido em Latossolo, utilizando diferentes sistemas de preparo (convencional: arado + grade e reduzido: escarificador) em região tropical, La Scala et al. (2006) também observaram correlação positiva entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo, porém não significativa com temperatura do solo. Iamaguti et al. (2015) trabalhando em região tropical encontraram correlação significativa e negativa entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo para o preparo convencional, diferente do que foi observado neste estudo. Esses autores não encontraram correlação entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo no preparo convencional (2 gradagens), subsolagem convencional (subsolagem em área total) e subsolagem localizada (subsolagem na linha de plantio).

Trabalhando com emissões de CO₂ após o preparo solo (arado de aiveca, escarificador e plantio direto) em região temperada, Ussiri e Lal (2009) verificaram correlação significativa e positiva entre a temperatura do solo e a emissão de CO₂. Enquanto, Reicosky e Archer (2007), avaliando preparos do solo com o uso do arado de aiveca, também em região temperada não encontraram correlação significativa entre emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo. Normalmente, a umidade do solo está relacionada às variações temporais da emissão de CO₂ quando esta variável é limitante à emissão (SCHWARTZ et al., 2010).

Emissão de CO₂ e atributos do solo em Argissolo

A escarificação na linha de plantio (ELP) e a escarificação em área total (EAT) não afetou as variáveis emissão de CO₂, temperatura do solo, umidade do solo, carbono orgânico associado aos minerais, carbono orgânico particulado (Figuras 3.4 e 3.5), C1, C2, C3 e C4 (Figura 3.6). Esse diferente comportamento verificado no Argissolo pode também ser atribuído ao maior teor de areia (809,30 g kg⁻¹), maior Ds (1,71 g cm⁻³), menor DMP (1,72 mm), menor Pt (0,32 m³ m⁻³), menor MACRO (0,07 m³ m⁻³), menor MICRO (0,25 m³ m⁻³) e menor CO (7,00 g kg⁻¹) encontrado neste trabalho quando comparado ao Latossolo (areia – 392,00 g kg⁻¹; Ds – 1,24 g cm⁻³; DMP – 3,46 mm; Pt – 0,53 m³ m⁻³; MACRO – 0,15 m³ m⁻³; MICRO – 0,38 m³ m⁻³; CO – 17,94 g kg⁻¹). Souza (2016), estudando os atributos do solo submetido a escarificação na linha de plantio e em área total nessa mesma área experimental, observou maior densidade no Argissolo (ELP = 1,73 g cm⁻³ e EAT = 1,69 g cm⁻³) em ambas as escarificações quando comparado com o Latossolo (ELP = 1,30 g cm⁻³ e EAT = 1,18 g cm⁻³). Esse mesmo autor, verificou menores valores de porosidade do solo para o Argissolo (ELP = 0,31 m³ m⁻³ e EAT = 0,33 m³ m⁻³) quando comparado ao Latossolo (ELP = 0,49 m³ m⁻³ e EAT = 0,56 m³ m⁻³) em ambas as escarificações na camada de 0 – 0,10 m de profundidade. Solos de textura arenosa favorecem a diminuição da porosidade, resultando em redução na difusão de CO₂ no solo (SHESTAK; BUSSE, 2005), pois menor porosidade total propicia um ambiente

anaeróbico (com pouca oxigenação), restringindo a atividade dos microrganismos no solo.

Para Li et al. (2002), em ambientes com baixa porosidade e pouca oxigenação, ocorre decréscimo de até um terço no número de microrganismos que vivem no solo (bactérias e fungos), diminuindo assim a emissão de CO₂ para a atmosfera. Da Silva et al. (2004), avaliando os atributos físicos de um Argissolo sob diferentes preparos do solo (preparo convencional, preparo reduzido e semeadura direta), verificaram que o revolvimento não influenciou atributos como a distribuição do tamanho de poros e a porosidade total.

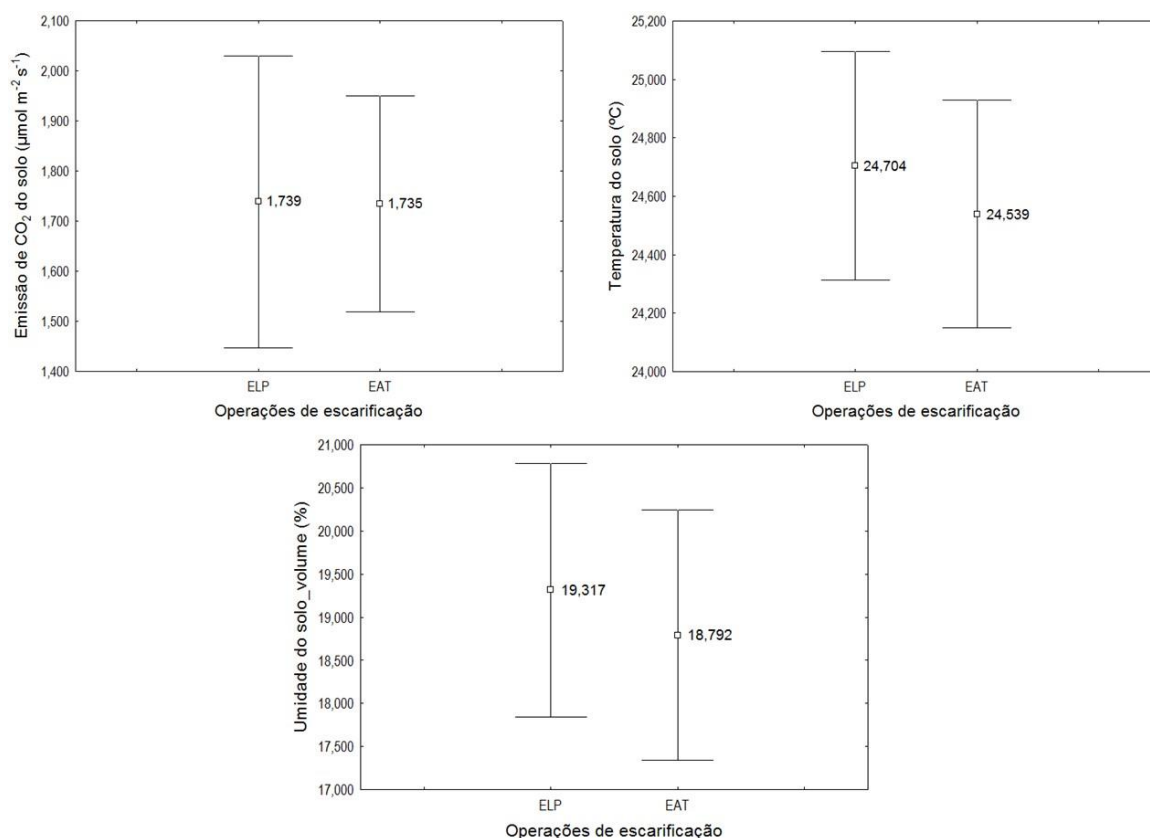


Figura 3.4. Valores médios de emissão de CO₂ do solo, temperatura do solo, e umidade do solo em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e com escarificação em área total (EAT) no Argissolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou, inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

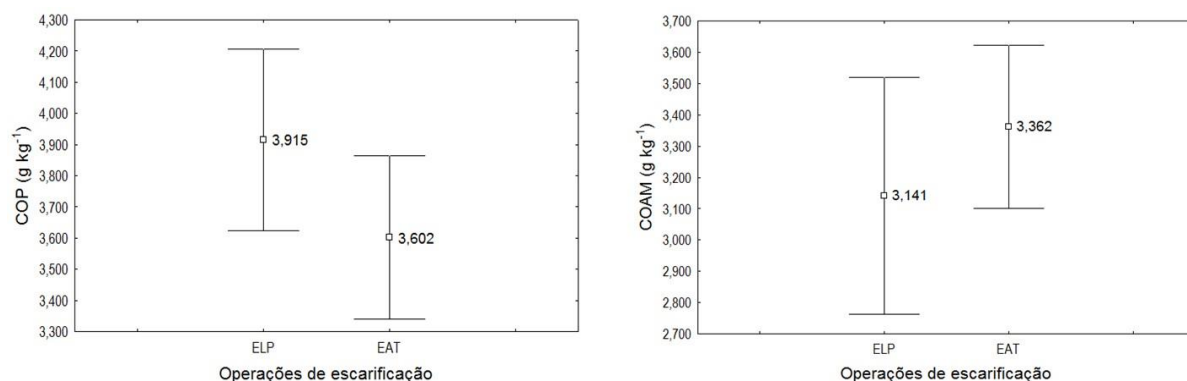


Figura 3.5. Valores médios de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e com escarificação em área total (EAT) no Argissolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou, inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

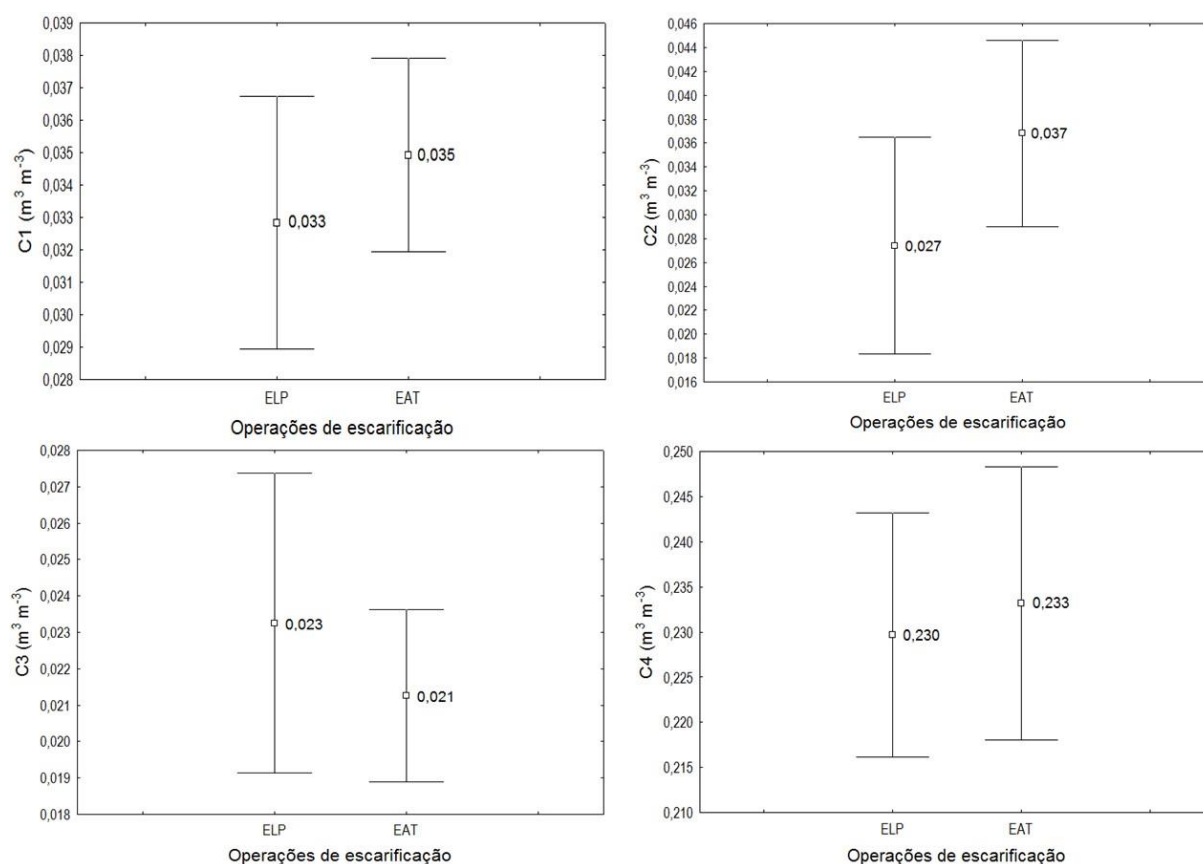


Figura 3.6. Valores médios do volume de água (m³ m⁻³) correspondente a C1 ($\phi \geq 0,1$ mm), C2 ($0,05 \leq \phi < 0,1$ mm), C3 ($0,0375 \leq \phi < 0,05$ mm) e C4 ($\phi < 0,0375$ mm), em função da escarificação na linha de plantio (ELP) e com escarificação em área total (EAT) no Argissolo. O intervalo de confiança está indicado pelas barras verticais. Quando os limites superior e/ou, inferior do intervalo de confiança se sobrepõem, não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a escarificação em linha de plantio e em área total.

Além disso, no Argissolo, os valores médios da emissão de CO₂ não foi significativo. Esse resultado deve-se provavelmente às características do próprio Argissolo, pois solos que apresentam textura arenosa na camada superficial e mais solta, promovem maior reorganização das partículas no solo (BRAGA et al., 2015). Para esses autores, esses solos apresentam volumes de poros reduzidos e mais resistentes a forças externas. O carbono orgânico foi menor no Argissolo do que no Latossolo resultando em menores valores médios da emissão de CO₂ na escarificação em linha de plantio e em área total. Além disso, o Latossolo apresenta maior proteção física da matéria orgânica no interior de seus agregados, reduzindo a atividade microbiana e, conseqüentemente, também a mineralização dos resíduos orgânicos no solo, favorecendo o aumento no estoque de carbono nesse solo.

O carbono é o constituinte básico de todos os compostos orgânicos, sendo utilizado como fonte primária de energia pelos microrganismos para a realização de suas atividades. Sendo assim, pode-se concluir que um sistema que apresente menor estoque de carbono também emite menos CO₂, quando comparado a outro sistema que apresente maior estoque de carbono. Neste sentido, o Argissolo apresenta menor teor de carbono que o Latossolo, indicando que ambos apresentam o mesmo potencial em relação à estabilidade do carbono orgânico lábil do solo.

Na análise de regressão múltipla observa-se que a umidade do solo (U_{solo}), o C1 e o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) explicam 82% ($R^2 = 0,82$) da variabilidade da emissão de CO₂ na área sob ELP (Tabela 3.3). Enquanto, na área sob EAT, a umidade do solo (U_{solo}), o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e o carbono orgânico particulado (COP) explicam 67% ($R^2 = 0,67$) da variabilidade da emissão de CO₂ (Tabela 3.4). A maior desagregação do solo proporcionada pela EAT explica a menor variabilidade da emissão de CO₂ no solo submetido a EAT, quando comparado ao solo sob ELP, pois a maior desagregação favorece um ambiente propício a atividade microbiana, atuando na decomposição da matéria orgânica, favorecendo a perda de carbono na forma de CO₂.

Tabela 3.3. Modelo de regressão múltipla da média da emissão de CO₂ do solo, em função dos atributos do solo na escarificação na linha de plantio (ELP) no Argissolo.

Atributo	Parâmetro	EP	p	R ²
Intercepto	3,06366	0,73855	0,0014	
U _{solo}	-0,16642	0,02816	<0,0001	0,5583
C1	29,17442	9,28408	0,0085	0,7204
COAM	0,29565	0,11802	0,0277	0,8164

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R² = coeficiente de determinação. U_{solo} = umidade do solo; C1 ($\phi \geq 0,1$ mm); COAM = carbono orgânico associado aos minerais.

Tabela 3.4. Modelo de regressão múltipla da média da emissão de CO₂ do solo, em função dos atributos do solo na escarificação em área total (EAT) no Argissolo.

Atributo	Parâmetro	EP	p	R ²
Intercepto	5,88067	0,86838	<0,0001	
U _{solo}	-0,09494	0,02539	0,0025	0,4084
COAM	-0,39862	0,13997	0,0137	0,5670
COP	-0,26623	0,13210	0,0450	0,6701

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R² = coeficiente de determinação. U_{solo} = umidade do solo; COP = carbono orgânico particulado; COAM = carbono orgânico associado aos minerais.

Dessa forma, no solo sob ELP e sob EAT a U_{solo} está relacionada de forma negativa com a emissão de CO₂. Esse resultado deve-se possivelmente à ocorrência de chuva na área experimental durante os dias de avaliação. Para Lier (2001), o aumento da umidade reduz o fluxo de gases no solo. Costa et al. (2008), estudando a emissão de CO₂ em Argissolo, na camada de 0 a 0,05 m, em diferentes sistemas de preparo (convencional = aração + gradagem e plantio direto), também encontraram resultados semelhantes. O mesmo foi observado por La Scala et al. (2006) que, em estudo conduzido em Latossolo, em diferentes sistemas de preparo: convencional (arado + grade) e reduzido (escarificador), verificaram por meio de regressão múltipla que somente a umidade do solo foi relacionada significativamente com as emissões de CO₂ a um nível significativo. Para esses autores, a umidade do solo é o fator mais importante que descreve a variabilidade temporal no sistema de plantio direto e no sistema de preparo convencional. Assim, a umidade do solo afeta a emissão de CO₂ para a atmosfera.

As variáveis COAM e C1 relacionaram-se de forma positiva com a emissão de CO₂ no solo sob ELP. Como houve menor mobilização do solo, ocorreu maior preservação dos poros maiores e do COAM. Assim, poros grandes favorecem o fluxo de gases no interior do solo, contribuindo para a emissão de CO₂. Além disso, a COAM serve como fonte de energia para os microrganismos, favorecendo a emissão de

carbono na forma de CO_2 . As variáveis COAM e COP relacionaram-se negativamente com a emissão de CO_2 no solo sob EAT. Isso ocorreu porque, embora a escarificação em linha de plantio e em área total não sejam tão distintas em ambas as escarificações, o EAT proporciona maior mobilização do que a ELP. Solos com textura arenosa propiciam baixo poder de ligação dos constituintes orgânicos com os componentes coloidais do solo, acarretando menor proteção física da matéria orgânica, o que favorece a maior decomposição pelos microrganismos (BAYER et al., 2000). Dessa forma, a emissão de CO_2 é favorecida pela mineralização da matéria orgânica que ficou desprotegida devido à ruptura dos agregados ocasionados pela escarificação.

De forma geral, as variáveis COAM e a classe de poro C2 no Latossolo, e o COAM e C1 no Argissolo apresentaram parâmetros positivos na área sob ELP, indicando que, em ambos os solos maiores teores de COAM e poros grandes favorecem o aumento da emissão de CO_2 para a atmosfera (Tabelas 3.1 e 3.3). Entretanto, a umidade do solo influenciou de forma negativa a emissão de CO_2 no Argissolo quando comparado com o Latossolo. Esse resultado deve-se possivelmente ao aumento da umidade do solo no Argissolo, causando redução na emissão de CO_2 decorrente de precipitações, o que ocasionou diminuição na oxigenação do solo e, conseqüentemente, reduziu a atividade microbiana. Além disso, a MACRO do Argissolo corresponde a metade da MACRO do Latossolo propiciando menor oxigenação, dificultando a atividade microbiológica. Segundo Braga et al. (2015) este fato pode ser explicado devido solo com teor de areia de 671 g kg^{-1} na camada de 0 – 0,10 m de profundidade apresentar textura solta, menores volumes de poros e por serem mais resistentes a forças externas, favorecendo a reorganização das partículas no solo.

Para o solo sob EAT, a variável U_{solo} apresentou parâmetro positivo e negativo para o Latossolo e o Argissolo, respectivamente (Tabelas 3.2 e 3.4). O parâmetro positivo da emissão de CO_2 com a umidade do solo no Latossolo indica que o aumento na emissão de CO_2 ocorreu devido o deslocamento e a remoção do CO_2 ocasionado pelo movimento da água no perfil do solo (SMART; PEÑUELAS, 2005). O parâmetro negativo da emissão de CO_2 com a umidade do solo, no Argissolo, indica que à redução na emissão de CO_2 ocorreu devido às precipitações, ocasionando redução

na oxigenação do solo, reduzindo a atividade microbiana nesse solo. Segundo Lal et al. (1995), a emissão de CO_2 é afetada pela umidade do solo por meio da difusão dos gases e da atividade dos microrganismos. Além disso, solos arenosos apresentam densidade elevada; assim, quando a densidade do solo é alta, a difusão do CO_2 no solo reduz, já que nessa condição a porosidade é reduzida, dificultando o fluxo de gases (SHESTAK; BUSSE, 2005).

A variável T_{solo} influenciou na emissão de CO_2 apenas no Latossolo sob EAT, pois a desagregação do solo favorece o aumento da temperatura do solo ocasionada pelo aumento da temperatura ambiente ($27,87^\circ\text{C}$), após a operação de escarificação. Segundo Lal et al. (1995), a atividade dos microrganismos depende da temperatura do solo, no qual um aumento de 10°C na temperatura favorece um aumento de 1,5 a 3 vezes, tanto na taxa de produção quanto no fluxo de gás carbônico do solo. Ussiri e Lal (2009), estudando as práticas de preparo do solo (arado de aiveca, escarificador e plantio direto) sobre as emissões de CO_2 , em Latossolo, após o preparo, observaram correlação positiva entre a emissão de CO_2 e T_{solo} . A variável T_{solo} não influenciou na emissão de CO_2 no Argissolo devido o efeito da T_{solo} sobre a emissão de CO_2 ter sido parcialmente inibido pela U_{solo} , sendo que U_{solo} e T_{solo} são variáveis interdependentes, alterando-se simultaneamente (DING et al., 2010).

No solo sob EAT o COAM e o COP influenciaram negativamente na emissão de CO_2 no Argissolo, indicando que isso pode ter ocorrido devido às características desse solo ter favorecido a mineralização do COP e do COAM, aumentando consequentemente a emissão de CO_2 . Para Bayer et al. (2000), solos mais arenosos favorecem menor ligação dos componentes orgânicos do solo com a fração sólida mineral, e, consequentemente, a matéria orgânica fica menos protegida no interior dos agregados. E isso favorece a mineralização da matéria orgânica e a perda de carbono na forma de CO_2 para a atmosfera. No Latossolo, o COAM e o COP não influenciaram na emissão de CO_2 quando analisada junto com outras variáveis, indicando que essas variáveis não governam a emissão de CO_2 no solo sob EAT quando comparado com a U_{solo} e T_{solo} . Isso pode ter ocorrido devido à textura mais argilosa do Latossolo, pois a característica textural dos solos é importante para se entender a dinâmica da atividade microbiana e os processos de emissão de CO_2 do solo (ROSCOE; BUURMAN, 2003).

Neste experimento, o Argissolo apresentou em média, altos valores de Ds ($1,71 \text{ g cm}^{-3}$) e menores valores médios de Pt ($0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), de MACRO ($0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), de MICRO ($0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), de CO ($7,00 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado ao Latossolo (Ds - $1,24 \text{ g cm}^{-3}$; Pt - $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; MACRO - $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; MICRO - $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; CO - $17,94 \text{ g kg}^{-1}$). Isso explica menores emissões de CO_2 no Argissolo, pois maiores valores de densidade do solo e baixa porosidade total favorecem um ambiente com pouca oxigenação, limitando a atividade microbiana no solo. Além disso, o Argissolo apresenta menor agregação, ou seja, os agregados se rompem facilmente, porque a estrutura é menos estável. Assim, com o rompimento dos agregados o carbono é liberado na forma de CO_2 , por isso o Argissolo emite menos CO_2 . Esse comportamento, também pode ser explicado pelo maior teor de Fe_{DCB} ($80,32 \text{ g kg}^{-1}$) encontrado no Latossolo quando comparado com o Argissolo ($\text{Fe}_{\text{DCB}} - 18,5 \text{ g kg}^{-1}$). Solos de textura argilosa, com teores elevados de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico na forma de complexos organominerais (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Esses complexos atuam como mecanismo de proteção do carbono contra o ataque microbiano, uma vez que as moléculas orgânicas são adsorvidas pela superfície desses minerais (BRONICK; LAL, 2005). Os óxidos de Fe e Al atuam como agentes cimentantes nos agregados do solo, ou seja, a agregação é favorecida na presença desses óxidos (McINTYRE, 1956; KEMPER, 1966).

Os minerais caulinita, hematita, goethita, gibbsita e anatásio são encontrados na composição mineralógica de Argissolo oriundos de arenitos do grupo Bauru (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003). Segundo estudo desenvolvido por Arca e Weed (1966) nos Estados Unidos, os óxidos de Fe e Al afetam o tamanho dos agregados do solo. Vitorino et al. (2003) afirmam que a estabilidade dos agregados do solo correspondente ao tamanho da fração silte são afetados de forma positiva pela gibbsita, e são afetados de forma negativa pela caulinita tanto no Latossolos quanto no Argissolos no Brasil. Segundo Pedrotti (2000), isso deve-se a presença do alumínio como agente cimentante das partículas do solo, comprovando a estabilização dos agregados pela presença do mineral gibbsita.

A emissão de CO_2 apresenta comportamentos distintos em função da textura do solo, do manejo do solo e das condições climáticas devido à variabilidade da

emissão de CO₂ e também devido ao fato, das variáveis que estão envolvidos tanto no processo de produção de CO₂ como na emissão desse gás dependerem das condições edafoclimáticas de cada ambiente. Assim, é necessário mais estudos para entender o comportamento da emissão de CO₂ em diferentes classes texturais, em diferentes manejos e em diferentes condições climáticas, pois a caracterização da emissão de CO₂ é desafiador, devido à grande variabilidade desta variável.

Conclusões

No Latossolo, o solo sob escarificação em linha de plantio e em área total afetaram diretamente a estrutura do solo, causando mudanças na porosidade e alterações na emissão de CO₂ do solo. Enquanto, que no Argissolo, a emissão de CO₂ não foi afetada independentemente da escarificação.

No Latossolo, a escarificação em linha de plantio favoreceu a formação de poros pequenos contribuindo para redução da emissão de CO₂. No Argissolo, os poros não influenciam a emissão de CO₂, independentemente da escarificação.

Na escarificação em linha de plantio os macroporos e o carbono orgânico associado aos minerais interferem na emissão de CO₂ no Latossolo. Na escarificação em linha de plantio os macroporos, a umidade do solo e o carbono orgânico associado aos minerais interferem na emissão de CO₂, no Argissolo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UNESP / Jaboticabal, pelo doutorado; à CAPES, pelo suporte financeiro; à FAPESP, pelo auxílio financeiro (processo nº 2014/14490-2), que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Referências

ARCA, M. N.; WEED, S. B. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxide and clay. **Soil Science**, Baltimore, v. 109, p. 282-288, 1966.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi: 10.1590/S0100-06832000000300013](http://dx.doi:10.1590/S0100-06832000000300013)>.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 Ed. Porto Alegre: Igo Fernando Lepsch. 2013, p. 686.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1025–1035, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1590/01000683rbc20140724>>.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3-22, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.geoderma.2004.03.005>>.

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, p. 777-783, 1992. Disponível em: <<http://dx.doi:10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>>.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim Informativo de Sociedade Brasileira da Ciência do Solo**, v. 32, p. 40–4, 2007.

CLAESSEN, M.E.C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2nd ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997, p. 212 (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do grupo Bauru II – Mineralogia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 495-507, 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 323–332, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0100-06832008000100030>>.

CHRISTENSEN, B.T. **Carbon in primary and secondary organomineral complexes**. IN: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Lewis, 1996, p. 97-165.

DA SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 544-552, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1590/S0103-84782005000300009>>.

DING, W.; YU, H.; CAI, Z.; HAN, F.; XU, Z. Responses of soil respiration to N fertilization in a loamy soil under maize cultivation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 381–389, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi:10.1016/j.geoderma.2009.12.023>>.

FUENTES, J.P., D.F. BEZDICEK, M. FLURY, S. Albrecht, and J.L. Smith. 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 123–131. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2005.05.001>>.

GABRIEL, K.A. Simple method of multiple comparisons of means. **Journal of the American Statistical Association**, v. 73, n. 364, p. 724–729, 1978. Disponível em: <<http://dx.doi:10.2307/2286265>>.

IAMAGUTI, J.L.; MOITINHO, M.R.; TEIXEIRA, D.D.B.; BICALHO, E.D.S.; PANOSSO, A.R.; LA SCALA, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 497–504, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p497-504>>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, p. 151.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007. Mitigation**. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981, p. 94.

JACKSON, M. L. Soil Chemical Analysis. 2ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, NJ, USA, 1985.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, v. 136, n. 3, p.173-184, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi:10.1016/S0378-1127\(99\)00290-X](http://dx.doi:10.1016/S0378-1127(99)00290-X)>.

KEMPER, W. D. Aggregate stability of soils from western United States and Canada. Washington: U.S. Govern. Print. Office, 1966. (Technical Bulletin, 1355).

KRIŠTOF, K.; ŠIMA, T.; NOZDROVICKÝ, L.; FINDURA, P. 2014. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. **Agronomy Research**, v. 12, p. 115–120, 2014.

LA SCALA, N., PANOSSO, A.R., PEREIRA, G.T., GONZALEZ, A.P., MIRANDA, J.G.V. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in an agricultural field during fallow. **International Agrophysics**, v. 23, p. 4, p. 353-358, 2009.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G.T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugarcane area in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2005.11.012>>.

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

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p.158–169, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>>.

LI, X.; INUBUSHI, K.; SAKAMOTO, K. Nitrous oxide concentrations in Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 108–113, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1007/s00374-002-0447-7>>.

LIER, Q. J. V. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 233–238, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1590/S0100-06832001000100025>>.

LIPIEC, J.; WALCZAK, R.; WITKOWSKA-WALCZAK, B.; NOSALEWICZ, A.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; SLAWINSKI, C. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p. 239–246, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2007.10.001>>.

LUO, L.; LIN, H.; LI, S. Quantification of 3-D soil macropore networks in different soil types and land uses using computed tomography. **Journal of Hydrology**, v. 393, p. 53–64, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.031>>.

MANGALASSERY, S.; SJÖGERSTEN, S.; SPARKES, D.L.; STURROCK, C.J.; MOONEY, S.J. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 132, p. 39–46, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2013.05.003>>.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1197–1206, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1590/S0100-06832011000400013>>.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removed from soils and clays by dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, 7: 1317–1327, 1960.

MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; ABER, J.D.; NEWKIRK, K.; LUX, H.; BOWLES, F.P.; CATRICALA, C.; MAGILL, A.; AHRENS, T.; MORRISSEAU, S. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. **Science**, v. 298, p. 2173–2176, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1126/science.1074153>>.

McINTYRE, D. S. The effect of free ferric oxide on the structure of some Terra Rossa and Rendzina soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 7, p. 302–306, 1956.

MOONEY, S.J.; MORRIS, C. A morphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray Computed Tomography. **Catena**, v. 73, p. 204–211, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.catena.2007.09.003>>.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JR. J.; MILORI, D.M.B.P.; FERRAUDO, A.S.; BARBIERI, D.M.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2010.10.002>>.

PEDROTTI, A. **Relação entre os atributos físicos e alumínio no solo**. 2000. 60f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

PERECIN, D. Experimentação com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (eds.). 2008. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008, p. 809–819.

PERECIN, D.; FERRAUDO, G.M.; AZANIA, C.A.M.; SCHIAVETTO, A.R. Statistical analysis for correlated paired-plot designs. **American Journal of Experimental Agriculture**, Wilmington, v. 9, p. 1–7, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi:10.9734/AJEA/2015/20722>>.

REICOSKY, D.C.; ARCHER, D.W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 109–121, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2006.07.004>>.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, p. 107–119, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi:10.1016/S0167-1987\(02\)00160-5](http://dx.doi:10.1016/S0167-1987(02)00160-5)>.

SAS Institute. **SAS – Statistical Analysis System: system for elementary statistical analysis**. Cary, SAS Institute, 1987. p. 416.

SCHWARTZ, R.C.; BAUMHARDT, R.L.; EVETT, S.R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.110, p. 221–229, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2010.07.015>>.

SHESTAK, C. J.; BUSSE, M. D. Compaction alters physical but not biological indices of soil health. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 236–246, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2005.0236>>.

SINGH, J.S.; GUPTA, S.R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **Botanical Review**. v. 43, p. 499-528, 1977. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF02860844>>.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 247–57, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.07.011>>.

SOUZA, F.C.A. de. **Atributos físicos de solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total para cultivo da cana-de-açúcar**. 2016. 33f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária de Jaboticabal, São Paulo, 2016.

SOUZA, Z.M. de; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**. v. 25, p. 27-34, 2003.

TEIXEIRA, L. G.; LA SCALA JR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **Holos Environment**, v.10 n.1, p. 1-11, 2010.

USSIRI, 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, p. 39–47, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>>.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p.133- 141, 2003.

ZHOU, X.; LIN, H. S.; WHITE, E. A. Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes. **Catena**. v. 73, p. 180–188, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.009>>.