

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

Jean Carlos de Almeida Ramos

**EMIÇÃO DE CO₂, QUANTIDADE E QUALIDADE DO
CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NA
REGIÃO DO CERRADO DO MATO GROSSO DO SUL**

Ilha Solteira

2018

Jean Carlos de Almeida Ramos

**EMIÇÃO DE CO₂, QUANTIDADE E QUALIDADE DO
CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO
CERRADO DO MATO GROSSO DO SUL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia,
UNESP - Campus de Ilha Solteira, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues
Co-orientador

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R175e Ramos, Jean Carlos Almeida.
Emissao de co2, quantidade e qualidade do carbono do solo em sistemas agrícolas na região do Cerrado do Mato Grosso do Sul / Jean Carlos Almeida Ramos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
83 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Engenharia Agrônômica, 2018

Orientador: Alan Rodrigo Panosso

Co-orientador: Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues

Inclui bibliografia

1. Dinâmica do carbono.
2. Efeito estufa.
3. Metabolismo do solo.
4. Grau de humificação da matéria orgânica.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Emissão de CO₂, quantidade e qualidade do carbono do solo em sistemas agrícolas na região do cerrado do Mato Grosso do Sul

AUTOR: JEAN CARLOS DE ALMEIDA RAMOS

ORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

COORIENTADOR: RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área:
SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO
Departamento de Agronomia / Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT


Dr. RICARDO DE OLIVEIRA BORDONAL
CTBE/CNPEN - Centro Nacional de Pesq. em Energia e Materiais / Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Ilha Solteira, 02 de maio de 2018

“Pelo fruto se conhece a árvore; do mesmo modo, os que professam ser de Cristo reconhecem-se pelas suas obras”.

Santo Inácio de Antioquia

Alimente sua fé e os seus medos morrerão de fome.”
Romanos 10.17

Dedico este trabalho aos meus pais Vanilton Ramos da Silva e Almedina Mansueto de Almeida Ramos, pessoas responsáveis pelo ser humano que sou hoje. Obrigado pelo amor, carinho, apoio e compreensão que sempre depositaram em mim.

Ofereço à minha irmã Jaíne Gracielly de Almeida Ramos e meu irmão Edmilson Simão da Silva, se hoje estou concluindo essa etapa da minha vida, devo ela em grande parte a vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Aquele que me deu forças quando tudo parecia distante e impossível, iluminou todos os meus caminhos, sem o qual não chegaria até aqui.

A todos os meus familiares, especialmente, meus avôs Izaura Celina da Silva (*in memorian*), João Ramos da Silva (*in memorian*), Raimundo Tomé de Almeida (*in memorian*) e Maria Nery de Almeida (*in memorian*) por tudo que me ensinou e pelos inúmeros momentos felizes que passamos juntos.

Aos meus pais, por toda educação, carinho, compreensão e amor que me deram, e que nunca deixaram de ser um exemplo de honestidade, humildade e perseverança para mim.

Minha gratidão a todos os meus amigos e colegas de profissão que tive a oportunidade de conviver e aprender com cada um, vocês fazem parte dessa conquista que hoje alcanço.

Ao professor Dr. Alan Rodrigo Panosso, pela orientação, incentivo, paciência e amizade. Obrigado pela oportunidade de trabalhar contigo e pelos grandes ensinamentos que adquiri com a nossa convivência durante toda essa jornada.

Aos amigos e colegas do grupo de pesquisa: Diego Pereira, Christiane Oliveira, Jaqueline Bonfim de Carvalho, Bruno, Renan Tavanti, Fernando Martins, Laís Teixeira, Maria Elisa Vicentini, Carla Pinotti, Deise Nogueira, Ludhana Veras, Paulo Alexandre da Silva. Vocês fizeram essa jornada ser muito mais fácil e prazerosa. Obrigado pelo auxílio, amizade e convivência.

À Dr. Débora Marcondes Milori pela disponibilização dos equipamentos para a caracterização óptica da matéria orgânica do solo, pela paciência, compreensão, pela grande ajuda na interpretação e discussão dos resultados.

Ao professor e co-orientador Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues pela disponibilização da área de Plantio Direto para as leituras, sem o qual não poderíamos ter alcançado alguns resultados importantes obtidos no presente estudo.

Ao professor Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes, pela disponibilização das demais áreas de leituras, que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos professores membros da Banca de Qualificação, professor Dr. Rafael Montanari e professor Dr. Marcelo Andreotti, que muito contribuíram com suas sugestões e críticas para a melhoria do presente estudo.

Aos professores Drs. da Banca de Defesa, que disponibilizaram seu precioso tempo para estarem nos auxiliando com sugestões e críticas na elaboração deste trabalho.

Aos amigos e funcionários da fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira (UNESP), por não medirem esforços para que as coletas de campo fossem bem sucedidas.

Aos amigos/irmãos da agronomia, Gabriel Bueno, Lucas Schindler, Larissa Godarelli Farinassi, Wanderson Viola, Túlio Alonso, Franz Michael e Saulo Borin, pela amizade, companheirismo e pelos momentos que passamos juntos.

E a todos os professores com os quais eu tive a oportunidade de interagir, são eles Marcelo Andreotti, Edson Lazarini, Marco Eustáquio de Sá, Orivaldo Arf, Glaucia Amorim Faria, Ana Maria Rodrigues Cassiolato e João Antonio da Costa Andrade, que somaram muito para nosso avanço profissional e pessoal. Deixo aqui minha eterna gratidão e admiração.

À todos os meus professores de graduação da Universidade Brasil, Campus Fernandópolis – SP, em especial aos meus orientadores, professor Dr. Marcelo Romeiro Ramos da Silva e professora Dra. Gisele Herbst Vazquez pela paciência, conselhos, ajuda e oportunidades profissionais.

Ao amigo e professor Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho pelas sugestões e contribuições que agregaram muito na melhoria deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Ilha Solteira – SP e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), pela oportunidade de aprendizado.

À Capes pelo apoio financeiro durante todo o período do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (PROCESSO FAPESP n°. 16/03861-5) pelo apoio financeiro para a condução deste estudo.

Muito obrigado por tudo!

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho baseia-se na hipótese que diferentes a conversão de áreas de vegetação de Cerrado nativo para diferentes sistemas usos do solo provocam alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, refletindo, portanto, na dinâmica de decomposição do carbono presente neste, bem como em sua qualidade, expressos pelas variações nos temporais de emissão de CO₂ do solo. Desta forma, o objetivo geral foi avaliar a influência de cinco usos do solo (cerrado nativo, floresta plantada de eucalipto, sistema plantio direto, floresta plantada de pinus e sistema silvipastoril) na emissão de CO₂, bem como a sua relação com o grau de humificação da matéria orgânica e estoque de carbono do solo. Desse modo, o estudo foi desenvolvido em áreas com condições edafoclimáticas semelhantes. Na literatura, apesar de ter inúmeros trabalhos que avaliam os padrões de emissão de CO₂ no solo, há poucos trabalhos que inter-relacionam atributos edáficos em sistemas estabelecidos há tanto tempo (trinta anos), assim, com essa característica, podemos estabelecer as relações desses com a emissão de CO₂ e suas variações na escala temporal com alta precisão.

EMIÇÃO DE CO₂, QUANTIDADE E QUALIDADE DO CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO CERRADO DO MATO GROSSO DO SUL

RESUMO

As emissões de CO₂ do solo (FCO₂) tem sido correlacionadas aos atributos do solo que, por sua vez, são fortemente influenciadas pelo uso manejo agrícola. Além disso, a temperatura do solo, a umidade e a relação entre ambos os atributos são as principais variáveis que regem o FCO₂. Nesse sentido, este trabalho deve fornecer um conhecimento importante sobre o mecanismo que regula o padrão FCO₂ em sistemas de manejos agrícolas, uma vez que as áreas foram convertidas de Cerrado para usos distintos há trinta anos. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência dos usos: cerrado nativo (CE), floresta de eucalipto (EU), floresta de pinus (PI) e sistema silvo-pastoril (SI) sobre a dinâmica do carbono do solo, bem como sua relação com o H_{LIFS} (Grau de humificação de matéria orgânica) e o EC (estoque de carbono do solo) de um latosolo na região do baixo Cerrado de Selvíria - MS. Dentre os manejos avaliados, o CE foi o que obteve as maiores emissões (4,55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em contraste com o PI que exibiu as menores (2,98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O EC e H_{LIFS} apresentaram valores divergentes entre os manejos, como exemplo, o SI atingiu os maiores valores de EC (17 t ha⁻¹), enquanto que, o H_{LIFS} desse manejo alcançou as menores taxas, portanto, menos humificado. De modo contrário, o PI obteve os menores valores de EC (11,5 t ha⁻¹) e maiores de H_{LIFS}. Os resultados das variáveis EC, H_{LIFS}, constante de decaimento do carbono (k), estoque de nitrogênio do solo (EN) e relação CN do solo evidenciam a interferência da mudança do uso da terra (MUT) nas propriedades do solo, e, consequentemente no padrão temporal do FCO₂. O SI apresentou propriedades do solo que favoreceram o aumento do estoque de carbono do solo em sua forma mais lábil, promovendo a redução do FCO₂ para a atmosfera e, com isso, ajudando a mitigar o efeito estufa adicional.

Palavras-chave: Dinâmica do carbono. Efeito estufa. Metabolismo do solo. Grau de humificação da matéria orgânica.

SOIL CO₂ EMISSION, QUANTITY AND QUALITY OF SOIL CARBON IN AGRICULTURAL SYSTEMS IN THE CERRADO REGION OF MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT

Soil CO₂ emissions (FCO₂) has been correlated to soil attributes, and are strongly influenced by agricultural use and management. Furthermore, soil temperature, humidity and the relationship between both attributes are the main variables that govern FCO₂. In this way, this work should provide an important knowledge about the mechanism that regulates the FCO₂ standard in different management agriculture systems, since the areas were converted from Cerrado to different agricultural management for thirty years. The objective of the study was to evaluate the influence of five land use: native vegetation (CE), eucalypt forest (EU), pine forest (PI) and silvopastoral system (SI) on soil carbon dynamic, as well as effects (FCO₂), as well as its relation with degree of humification of organic matter (H_{LIFS}) and soil carbon stock (EC) in a oxisol in the Cerrado region of Mato Grosso do Sul. Among the managements evaluated, EC was the one that obtained the highest emissions (4.55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in contrast to the PI that showed the smallest ones (2.98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The EC and H_{LIFS} presented divergent values among the management, for example, the SI reached the highest values of EC (17 t ha⁻¹), whereas, the H_{LIFS} of this management reached the lowest rates, therefore, less humid. Conversely, PI had the lowest values of EC (11.5 t ha⁻¹) and higher values of H_{LIFS}. The results of the variables EC, H_{LIFS}, carbon decay constant (k), soil nitrogen inventory (EN) and soil CN ratio show the interference of land use change (MUT) on soil properties, and consequently in the time pattern of CO₂ emission. The SI presented properties that favored the increase of the carbon stock of the soil in its most labile form, promoting the reduction of FCO₂ to the atmosphere and, thus, helping to mitigate the additional greenhouse effect.

Key Words: Carbon dynamics. Greenhouse effect. Soil metabolism. Humification index of soil organic matter.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio
BH – Cana queimada
C – Carbono
C/N – relação carbono nitrogênio
Ca – Cálcio
CE – Cerrado nativo
CH₄ – Metano
CO₂ – Dióxido de carbono
CTC – Capacidade de troca catiônica
CV – Coeficiente de variação
CO – Carbono orgânico oxidável
CM – Cultivo mínimo
DP – Desvio-padrão
Ds – Densidade do solo
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EC – Estoque de carbono do solo
EN – Estoque de nitrogênio do solo
EU – Floresta plantada de Eucalipto
EO₂ – Captura/absorção de oxigênio
E – Espessura da camada equivalente
ESR - Electron spin resonance
ET – Emissão total
FCO₂ – Emissão de CO₂ do solo
GEE – Gases de Efeito Estufa
Gt – Gigatonelada
GH – Colheita mecanizada
H+Al – Acidez potencial
H_{LIFS} – Grau de humificação da matéria orgânica do solo
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
IPF – Integração Pecuária-Floresta **k** – Constante de decaimento do carbono do solo
K – Potássio
Km – Quilômetros

LIFS - Fluorescence spectroscopy

Ma – Macroporosidade do solo

Mg – Magnésio

Mi – Microporosidade do solo

MOS – Matéria orgânica do solo

MUT – Mudança no uso da terra

N – Nitrogênio

N₂O – Óxido nitroso

O₂ – oxigênio

OH - Ohio

P – Fósforo

pH – Potencial hidrogeniônico

PI – Floresta plantada de Pinus

ppm – partes por milhão

PVC – Policloreto de polivinila

RQ – Cociente respiratório

SB – Soma de bases

SI - Silvipastoril

SPD – Sistema Plantio Direto

SPC – Sistema Plantio Convencional

TDR – Time Domain Reflectometry

TFSA – Terra fina seca ao ar

Ts – Temperatura do solo

Us – Umidade do solo

USA – United States of América

UV – Luz ultravioleta

V% – Saturação por bases

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Localização das áreas estudadas no município de Selvíria –MS, obtida via drone.....	32
Figura 2	- Precipitação pluvial (mm), e temperaturas (°C) máxima, média e mínima, durante os 210 dias de condução do experimento. Selvíria – MS, 2017.....	33
Figura 3	- Sistema LI-8100 interligado à câmara de solos (a), e câmara para solo inserida sobre o colar de PVC (b).....	35
Figura 4	- Termômetro digital, do tipo espeto, inserido no solo próximo ao colar de PVC.....	36
Figura 5	- Equipamento TDR, inserido no solo próximo ao colar de PVC.....	36
Figura 6	- Sistema UV Flux 25% (a), utilizado para a determinação das taxas de captura de oxigênio e monitoramento da concentração de O ₂ em área de cerrado nativo (b).....	37
Figura 7	- Mecanismo de funcionamento do LIFS.....	41
Figura 8	- Sistema de medida de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS), Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos – SP.....	42
Figura 9	Prensa hidráulica, e balança de precisão utilizada na elaboração das pastilhas.....	43
Figura 10	Pastilha de 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura utilizada nas análises de fluorescência induzida por laser (LIFS).....	44
Figura 11	Emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹) ao longo dos 210 dias de experimento.....	48
Figura 12	Umidade do solo (%) ao longo dos 210 dias de experimento.....	48
Figura 13	Temperatura do solo (° C) ao longo dos 210 dias de experimento.....	49
Figura 14	Captura de O ₂ (mg m ⁻² s ⁻¹) ao longo dos 210 dias de experimento	50

Figura 15	Razão entre a emissão de CO ₂ e a absorção O ₂ do solo ao longo dos 210 dias de experimento.	52
Figura 16	Emissão Total (Kg ha ⁻¹) de C_CO ₂ nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento	53
Figura 17	Estoque de Carbono do Solo Total (Mg ha ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	54
Figura 18	Gráfico da regressão linear para o Estoque de Carbono do Solo (Mg ha ⁻¹) e Emissão de C_CO ₂ (Kg ha ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	55
Figura 19	Estoque de Nitrogênio do Solo (Mg ha ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	57
Figura 20	Gráfico da regressão linear para o Estoque de Nitrogênio do Solo (Mg ha ⁻¹) e Emissão de C_CO ₂ (Kg ha ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	58
Figura 21	Constante de decaimento do carbon (k) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	59
Figura 22	Relação C/N (g kg ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	60
Figura 23	Grau de humificação da matéria orgânica (H _{LIFS}) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	62
Figura 24	Gráfico da regressão linear para o Grau de humificação da matéria orgânica (H _{LIFS}) e Emissão de C_CO ₂ (Kg ha ⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Análise química do solo nos manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	38
Tabela 2	- Análise física do solo nos manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.....	40
Tabela 3	- Estatística descritiva da emissão de CO ₂ do solo e demais variáveis ao longo de 210 dias de avaliação na área de Cerrado, MS, período de Março de 2017 a Novembro de 2017.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1	O BIOMA CERRADO	24
2.2	ÁREAS DE FLORESTA PLANTADA	25
2.3	SISTEMAS CONSERVACIONISTAS	26
2.4	EMIÇÃO DE CO ₂ DO SOLO	27
2.5	METABOLISMO DO SOLO	29
2.6	GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	ÁREAS EXPERIMENTAIS	32
3.2	EMIÇÃO DE CO ₂ TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO	34
3.3	ABSORÇÃO DE O ₂	36
3.4	AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	38
3.5	CONSTANTE DE DECAIMENTO DO CARBONO.....	40
3.6	GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	41
3.7	ANÁLISE DOS DADOS	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	MEDIDAS REPETIDAS NO TEMPO ENTRE OS FATORES MANEJOS DO SOLO E TEMPO.....	47
4.2	RELAÇÃO ENTRE A EMIÇÃO DE CO ₂ DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO.....	53
4.3	CONSTANTE DE DECAIMENTO DO CARBONO (k).....	58
4.4	RELAÇÃO ENTRE A EMIÇÃO DE CO ₂ DO SOLO E RELAÇÃO C/N.....	60
4.5	RELAÇÃO ENTRE A EMIÇÃO DE CO ₂ DO SOLO E H _{LIFS}	61
4.6	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	64
5	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

As mudanças nos níveis das concentrações dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera acentuaram-se com o advento da revolução industrial (1970) provocando um aumento nas temperaturas globais, acarretando as chamadas mudanças climáticas (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS- IPCC, 2013). Esse fenômeno tem ocasionando diversos prejuízos ambientais e à vida do homem no planeta. Como exemplo, podemos destacar o aumento da temperatura do ar e do solo, ocasionando maiores perdas de carbono para a atmosfera (feedback positivo), a extinção de inúmeros espécies de animais e plantas e o provável surgimento de doenças (IPCC, 2014).

O dióxido de carbono (CO_2) é considerado o principal gás do efeito estufa adicional, assim sendo, o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera ao longo dos anos, tem se tornado uma das grandes preocupações mundiais. O CO_2 foi que apresentou os maiores aumentos de suas concentrações na atmosfera comparada aos demais gases do efeito estufa: metano – (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) reportou um aumento nas taxas de CO_2 ao patamar de 40%, em relação aos seus níveis préindustriais (180 a 300 ppm), atingindo a taxa 391 ppm no ano de 2011. Atualmente, o CO_2 atingiu nova máxima no ano de 2015, com taxa de $400,0 \pm 0,1$ ppm, representando um aumento de 144% em relação aos seus níveis pré-industriais, com forçante radiativa oriunda dos GEE de vida longa na atmosfera aumentando a 37%, sendo que o CO_2 foi o responsável por aproximadamente 80% desse aumento (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION- WMO, 2016).

Os principais fatores responsáveis por esse aumento são a queima de combustíveis fósseis, as mudanças do uso e manejo da terra (como o desflorestamento e agropecuária). A agricultura, embora não sendo o principal emissor de CO_2 é encarregada por uma emissão global de 5,1 a 6,1 Gt CO_2 -eq, representando cerca de 10-12% do total emitido, portanto ocupando a segunda posição em termos de emissão não natural de GEE (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS- IPCC, 2007).

O solo desempenha um importante papel na reserva do carbono nos ecossistemas, participando do ciclo global deste elemento, atuando assim na variação climática (RETH et al., 2005). O solo ainda pode armazenar até 3 vezes mais carbono que a atmosfera e até 4 vezes mais que a

vegetação sendo, portanto, um importante fator no estudo dos ciclos biogeoquímicos do carbono (CLIMATE, 2001). O Brasil por ser um país em sua essência agrícola, cerca de 70% das emissões de CO₂ provém de atividades agrícolas como o manejo e uso da terra, e desmatamento. Portanto, a conversão de áreas de vegetação nativa para áreas agricultáveis promove uma significativa mudança no padrão temporal da perda de carbono do solo, via emissão de CO₂ do solo (FCO₂) (KAUFFMAN et al., 1995; DIAS-FILHO et al., 2001; GALFORD et al., 2013).

As mudanças no FCO₂ são controladas por inumeráveis fatores de natureza física, química e biológica do solo, como a densidade (SAIZ et al., 2006), concentração de matéria orgânica do solo (MOS) (SPECIAL OPERATIONS EXECUTIVE- SOE; BUCHMANN, 2005), estoque de carbono (PANOSSO et al., 2011), pH (RETH; REICHSTEIN; FALGE, 2005), capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de óxidos de ferro do solo (LA SCALA et al., 2000). No entanto, a temperatura do solo, a umidade e a relação entre ambas e com os demais atributos constituem as principais variáveis que governam o FCO₂ (KANG et al., 2003; SMITH et al., 2003; RETH et al., 2004).

A quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) são influenciadas pelo clima, tipo de solo e práticas de manejo adotadas (LEITE et al., 2003; ARAUJO; SEGNINI 2007; USSIRI; LAL, 2009). As substâncias húmicas representam cerca de 80% do conteúdo de MOS presentes no solo (KONOVA, 1966; SCHNITZER; KHAN, 1972; WOOD, 1996; SANTOS; CAMARGO, 1999), sendo assim, a maior permanência do carbono no solo, se deve ao grau de humificação (H_{LIFS}) da MOS, dado que os teores de MOS mais humificados são mais duráveis (FERREIRA et al., 2014). Portanto, a determinação H_{LIFS} é um importante indicativo da estabilidade deste componente no solo (XAVIER, 2004).

Diante do exposto, o entendimento dos inúmeros fatores ambientais e atributos do solo que governam o comportamento do FCO₂ ao longo do tempo constitui ainda um enorme desafio para sua interpretação. Os principais motivos dessa complexidade deve-se ao fato de que tais atributos interagem entre si, com diferentes escalas de variação no espaço-tempo (GRAF et al., 2012). O solo em condições naturais, em áreas de vegetação nativa apresenta um equilíbrio entre as frações C e N do solo (BORTOLON et al., 2009), com a MUT, esse equilíbrio é frequentemente rompido em favor da maior saída de Carbono (CERRI et al., 2017).

Por esse motivo a adoção de sistemas que promovam o acúmulo de carbono e reduzem as emissões de GEE é de suma importância para a mitigação do efeito estufa advindo da agricultura. Portanto a hipótese do trabalho é que diferentes usos do solo nas atividades agrícolas causam

alterações não somente nos estoques de carbono no solo, mas também na qualidade desse carbono, alterando assim nas relações e os padrões temporais da emissão de CO₂. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência dos usos: cerrado nativo, floresta de eucalipto, floresta de pinus e sistema silvopastoril (consórcio de aroeira e com capim braquiária) sobre a dinâmica da emissão de CO₂, bem como sua relação com o grau de humificação de matéria orgânica e o estoque de carbono de um latossolo na região do baixo Cerrado de Selvíria - estado de Mato Grosso do Sul.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O BIOMA CERRADO

O Cerrado é um bioma localizado na região central do Brasil, compreendendo principalmente os estados do centro-oeste brasileiro, sendo assim o segundo maior bioma brasileiro. Com uma extensão total 2 milhões de km², ocupa cerca de 24% do território brasileiro, atrás apenas do bioma Amazônico (SIMON et al., 2009; SANO et al., 2010). As características desse bioma são bem diversificadas, variando de campo, cerrado, cerradão, de matas ciliares e veredas, assim como ambientes alagadiços. De acordo com Furley (1999) e Eiten (1972) os relevos, os fatores edáficos e a ocorrência de queimadas são os principais reguladores do padrão dessa vegetação. O cerradão é uma das diversas formas fitofisinômicas que o bioma pode possuir, segundo Alho e Martins (1995) a quantidade de árvores nessa formação é em torno de onze vezes superior ao cerrado *sensu stricto*, sendo assim uma floresta com dossel fechado e árvores características do bioma.

Na década de 1970 o Cerrado se tornou a nova fronteira agrícola do Brasil, a sua localização, a adequada topografia para mecanização e o advento da tecnologia favoreceram essa expansão (LOPES, 1996). A região ocupada por esse bioma apresenta estações bem definidas, a estação seca ocorre entre Abril e Outubro, enquanto a chuvosa ocorre entre Novembro a Março.

De acordo com Bernoux et al. (2004) a mudança de áreas de cerrado nativo para áreas agricultáveis, trouxe uma série de alterações física e químicas do solo, como redução da matéria orgânica, intensificação dos processos de erosões devido a diminuição de infiltração de água no solo e perda da fertilidade do solo. A redução dessa matéria orgânica depositada no solo é devido ao aumento da aeração, acelerando o processo de mineralização por microrganismos, resultando na oxigenação do C orgânico, liberando este ao solo (HOUGHTON et al., 1991). A queima de áreas de cerrado nativo para a implantação de sistemas de produção resulta em uma redução do estoque de carbono e aumentam as emissões de gases do efeito estufa (GEE) (SMITH et al., 2008).

2.2 ÁREAS DE FLORESTA PLANTADA

O setor florestal brasileiro até o ano de 1965 tinha pouca relevância, a exploração das florestas plantadas, assim como as florestas nativas eram realizadas em sua maioria em pequena escala e com baixo uso de tecnologia (PELA, 2010). O aumento no reflorestamento, principalmente com o uso de Pinus (*Pinus elliotii*) e Eucalipto (*Eucalyptus sp.*) no Brasil ocorreu em razão de maiores incentivos fiscais, rigor na fiscalização ambiental, declínio de áreas com matas nativas, além de outras pressões ambientais, além de promoverem uma melhoria nos atributos físicos e químicos do solo (JACKSON et al., 2005; BACHA, 2008;).

Os autores Graae et al. (2004) e Zhou et al. (2013) afirmam que a característica de cada floresta, como a espécie escolhida e manejo utilizado afeta substancialmente nas propriedades físicas e químicas do solo, respiração basal, teor de carbono orgânico, nitrogênio, pH, e quantidade de serapilheira, que por sua vez influenciam no metabolismo do solo.

A substituição da vegetação nativa por florestas plantadas, como o eucalipto e o pinus, por exemplo, além de gerar variações físicas, químicas e microbiológicas no solo como citados anteriormente, estão diretamente relacionadas com sua qualidade e produtividade, podendo ser consideradas estratégias para aumentar os estoques de carbono no solo para mitigação do efeito estufa adicional (ABURJAILE et al., 2011; RODRIGUES et al., 2015; BECKERT et al., 2016; MONROE et al., 2016).

O Eucalipto e o Pinus são as duas espécies mais utilizadas em silvicultura, do total de 6,6 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, o gênero *Eucalyptus* se destaca com 5,1 milhões de hectares, os estados de São Paulo e Minas Gerais são os maiores produtores, seguindo do estado de Mato Grosso do Sul, que vem apresentado uma expansão significativa ao longo dos últimos anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS- ABRAF, 2013), enquanto que o Pinus tem uma área total de aproximadamente 1,59 milhões de hectares (IBÁ, 2016).

O cultivo de áreas florestais tem sido proposto por diversos pesquisadores como uma forma de sequestro de C, devido seu potencial de estoque no solo e acúmulo na madeira (LAL, 2004; PULROLNIK et al., 2009; LAGANIERE; ANGERS; PARE, 2010). Alguns estudos afirmam que áreas em que o eucalipto é consorciado com pastagem ou culturas anuais há um maior potencial de estoque de Carbono (LA SCALA JUNIOR; FIGUEIREDO; PANOSSO, 2012).

Como o desflorestamento no Brasil é umas principais responsáveis pela emissão de GEE, o reflorestamento atua diretamente na mudança climática, em virtude de mitigar a emissão de GEE, promovendo o sequestro de carbono (CERRI, 2010; CUNNINGHAM, 2015).

Em torno de um terço de todo carbono estocado encontra-se em áreas de florestas (RODEGHEIRO et al., 2009). As florestas tropicais desempenham um papel fundamental no ciclo biogeoquímico do carbono global, pelo motivo delas estocarem por volta de 20–25% do carbono terrestre global, fixando-o na madeira, folhas, flores e frutos através do processo de fotossíntese (MATHEUS, 2012; BERNOUX et al., 2002;). Posteriormente esse CO₂ captado pelo processo fotossintético pode ser novamente liberado pela ação da decomposição ou incorporado no solo como substâncias orgânicas (OKUMURAA et al., 2015), por esse motivo o entendimento do FCO₂ em florestas é de suma importância, pois a mesma pode desempenhar um papel de sumidouro de CO₂ ou fonte de C para a atmosfera (DENARDIN et al., 2014).

2.3 SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

Sistemas conservacionistas pode ser entendido como práticas que visam a conservação do solo e da água aliados a maximização da produtividade, promovendo a sustentabilidade do sistema. Essas práticas podem ser de natureza edáfica, vegetativa e ou mecânica, elas empregam o manejo e modificação do ambiente afim de otimizar áreas de acordo com sua capacidade de uso.

O Sistema Silvipastoril (SI) ou Integração Floresta-Pecuária (ILP) apresenta um enorme potencial de utilização como uma técnica conservacionista, visto que essa integração visa compor um ambiente em que animais, plantas forrageiras, e árvores estejam presentes na mesma área e se interajam entre si (GARCIA; COUTO, 1997). Para Bernadino (2007) o SI é um modo de utilização do solo muito mais complexo do que aquele que aproveitado somente com pastagens exclusivas. A existência de árvores nestes sistemas interfere na luminosidade, temperatura e umidade do solo, afetando assim diretamente na produção e qualidade das forrageiras.

A quantidade de carbono estocado em SI depende do local implantado, bem como o manejo e as espécies escolhidas para compor o sistema (ALBRECHT; KANDJI, 2003). Em estudos conduzidos por Sharrow; Ismail (2004) em SI, pastagem solteira e plantio florestal de 11 anos, em

western Oregon USA, foi observado que o SI obteve uma maior produção de biomassa, ocasionando um estoque de carbono maior no solo que em relação às outras áreas analisadas. O SI pode apresentar diferentes níveis, desde áreas pequenas até em florestas para produção de madeira em larga escala, em associações com diferentes tipos de árvores, como a Aroeira Preta (*Myracrodruon urundeuva*). A Aroeira Preta, também conhecida como Urundeúva em algumas regiões do Brasil, tem como característica principal a resistência a cupins e capacidade de resistir a altas pressões, há estudos que relatam a capacidade de suporte de até 6 toneladas de carga sem se deformar (MAINIERI; CHIMELO, 1989; BRAGA, 1960), isso deve-se principalmente ao fato que essa madeira apresenta propriedades como densidade, dureza e elasticidade (SANTOS, 1987; RIZZINI, 1995; MORAES; FREITAS, 1997), além de possuir barreiras químicas (compostos fenólicos) que conferem efeitos de fungicida e inseticida (BRAGA, 1960; (CHAVES et al. 1998; MORAIS et al. 1999; QUEIROZ et al. 2002;

VIANA et al. 2003; MONTEIRO et al. 2006). Planta nativa do Brasil, membro da família da Anacardeaceae, está presente em todos estados brasileiros, principalmente na região do Cerrado (LEITE, 2002; MONTEIRO et al., 2012). O cultivo de Aroeira Preta pode proporcionar uma alta rentabilidade, pois esta tem a possibilidade de ser explorada como fonte de madeira, combustível e medicinal (MONTEIRO et al., 2012). Sendo assim, devido suas características e ampla adaptabilidade em diversos ambientes no Brasil se constitui uma espécie com grande potencial no uso em SI.

Embora sistemas integrados com o uso de culturas anuais e perenes estarem sendo usadas como uma forma de verticalização da produção agropecuária há um certo tempo, seu entendimento na dinâmica de sequestro de Carbono ainda é pouco compreendido. Portanto, dependendo do manejo e práticas adotadas essas áreas podem atuar como sumidouro de C (OGLE; PAUSTIAN, 2005; DOLAN et al., 2006). Podendo assim, o SI ser um importante mecanismo para reduzir as emissões de GEE e conferir ainda mais sustentabilidade a esses sistemas produtivos.

2.4 EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO

As mudanças no FCO₂ são controladas por inumeráveis fatores de natureza física, química e biológica do solo, como a densidade (SAIZ et al., 2006), concentração de matéria orgânica do

solo (MOS) (SOE; BUCHMANN, 2005), estoque de carbono (PANOSSO et al., 2011), pH (RETH; REICHSTEIN; FALGE, 2005), capacidade de troca catiônica e teores de óxidos de ferro do solo (LA SCALA et al., 2000). No entanto, a temperatura do solo, a umidade e a relação entre ambas e com os demais atributos constituem as principais variáveis que governam o FCO₂ (KANG et al., 2003; SMITH et al., 2003; RETH et al., 2004). Em um trabalho realizado nas proximidades de South Charleston, OH, USA, conduzido pelos pesquisadores Ussiri e Lal (2009), foi avaliado o estoque de Carbono, o fluxo de CO₂, a temperatura e umidade sob sistema de preparo convencional (SPC), cultivo mínimo (CM) e sistema plantio direto (SPD) em área com monocultivo de milho, em relação ao estoque e emissão de CO₂ a conversão de SPC para CM não apresentou diferença significativa, evidenciando assim que a temperatura foi o fator principal que controla o FCO₂ do solo.

A temperatura do solo atua diretamente no metabolismo do solo incrementando as taxas de atividade microbiana e respiração das raízes, além disso, produtos oriundos de mineralização sob altas temperaturas podem ser mais recalcitrantes do que encontrados em ambientes temperados (DALIAS et al., 2001; LARCHER, 2003). Portanto a temperatura favorece maiores taxas de atividade microbiológica, contanto que os outros fatores que controlam a atividade não estejam em condições limitantes (MEIXNER; YANG, 2006).

A umidade do solo exerce uma importante função na decomposição da MOS, pois atua na dissolução, turgidez e fornecimento de nutrientes, além de favorecer a mobilidade dos microrganismos, permitindo assim que os fungos e bactérias desempenhem suas atividades metabólicas (SCHINDLBACHER et al., 2004; MEIXNER; YANG, 2006). Outros autores também observaram relação positiva entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo, ou seja, quanto maior a umidade maior também o FCO₂ (PANOSSO et al., 2009; MORELL et al., 2010). No entanto, alguns pesquisadores notaram a influência negativa da umidade no FCO₂ quando estas foram associadas à ocorrências de precipitação (PANOSSO et al., 2011; WANG et al., 2015), fenômeno observado devido ao efeito físico de expulsão e difusão do gás CO₂ dos macroporos e preenchimento deste por água (CHEN et al., 2010).

Em adição a isto, a umidade do solo pode desempenhar uma função de inibição na produção de CO₂. Autores sugerem que o conteúdo ótimo de ar no solo está próximo quando os macroporos estão praticamente cheios de ar, favorecendo a difusão de O₂ no solo, e os microporos próximos da capacidade de retenção de água, favorecendo a solubilidade dos substratos utilizados pelos microrganismos (LUO; ZHOU, 2006). Trabalhando em três tipos de florestas subtropicais,

Tang et al. (2006) observou que o FCO_2 apresentou uma alta correlação positiva com a temperatura e umidade do solo, sendo estas maiores no período quente e úmido comparado com a estação seca e fria. Contudo, se o conteúdo de água no solo não estiver adequado, este atributo pode limitar o FCO_2 , mesmo em condições em que a temperatura esteja ótima para a atividade microbiana (DAVIDSON et al., 1998; GARTEN et al., 2009). Demonstrando assim que o entendimento dessas duas variáveis e as relações entre si tornam de suma importância para a compreensão do FCO_2 .

É importante salientar que esses fatores variam ao longo do tempo, logo suas influências sobre a emissão de CO_2 também (HU et al., 2011), fazendo com que a compreensão das relações que regem o FCO_2 torne-se complexa e de difícil elucidação apesar de todos os esforços e respostas alcançadas nos últimos anos.

2.5 METABOLISMO DO SOLO

O solo é considerado um sistema trifásico, pois é constituído por matéria mineral e orgânica (fração sólida), água (fração líquida) e ar (fração gasosa). Esses elementos interagem entre si, participando assim do complexo solo-planta-atmosfera. No solo o principal gás consumido é o oxigênio (O_2), devido a indispensabilidade deste no processo respiratório de raízes e pela atividade microbiana de organismos aeróbicos, por outro lado o principal gás liberado por esse processo é o CO_2 (JONG VANLIER, 2001; FERREIRA, 2010). Por esse motivo, autores descrevem que a relação destes dois gases é inversamente proporcional (LESPCH, 2011), ou seja, os menores valores de concentração de O_2 no solo, são acompanhados pelos maiores valores de concentração de CO_2 neste ambiente, o contrário é observado na atmosfera, onde o nitrogênio ocupa em torno de 78 %, o oxigênio 21%, o argônio 0,93%, enquanto que o dióxido de carbono ocupa apenas 0,035% dos gases presentes na atmosfera.

O O_2 é utilizado pelos microrganismos aeróbicos do solo como receptor final de elétrons, sendo assim o oxidante mais importante utilizado em sistemas biológicos (SIQUEIRA et al., 1994). Diante disso, para que a atividade microbiana ocorra de maneira adequada há a necessidade de uma troca rápida entre o oxigênio disponível na atmosfera e o solo (CHEN et al., 2010). Além do mais, quanto maior a atividade microbiana, maior será a necessidade das trocas gasosas acontecerem de maneira eficaz entre a atmosfera e o solo (BRADY; WEILL 2009). A difusão e

o fluxo de massa são os principais mecanismos que promovem o fluxo de O_2 da atmosfera para o solo (JURY et al., 1991; KLEIN et al., 2008; BRADY; WEILL, 2009). O processo de metabolismo do solo envolve o consumo de O_2 e produção de CO_2 . A relação entre esses dois gases e sua eficiência metabólica pode ser calculada e determinada pelo cociente respiratório (RQ), proposto por Dilly (2001). Em seu trabalho, Dilly (2001) avaliou a resposta do cociente RQ em solos e sua confiabilidade como método para a quantificação do metabolismo do solo. Como resultado, ele obteve valores próximo de 1, porém apresentando diferenças entre solos, indicando assim sua eficácia no uso.

Embora a importância dessas trocas gasosas para o sistema físico, químico e biológico do solo serem conhecidas, a dinâmica envolvida nesse processo, bem como as interações e influências de fatores bióticos e abióticos ainda são pouco estudadas, evidenciando assim a necessidade de entendimento desse processo. Em estudos conduzidos por Almeida (2017) na cultura da cana-de-açúcar em diferentes manejos: colheita mecanizada (GH) e o uso da queimada (BH), observou uma correlação negativa entre a dependência destes gases, evidenciando-se assim a importância de estudar a relação de ambos.

2.6 GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica do solo (MOS) é definida como sendo a combinação de variados elementos vivos e não-vivos em diferentes graus de decomposição. (PASSOS et al., 2007; STEVENSON 1994) que sofrem transformações contínuas pela ação física, química e biológica do solo. Além disso, ela está diretamente relacionada com fatores químicos, físicos e biológicos do solo, como a capacidade de retenção de água, aeração, pH, densidade do solo, capacidade de troca catiônica (CTC), atividade microbiana, e metabolismo do solo (XAVIER, 2014). A quantidade e a qualidade da MOS são influenciadas pelo clima, solo e tipo da prática de manejo escolhido (LEITE et al., 2003; ARAUJO; MONTEIRO, 2007; SEGNINI, 2007; USSIRI; LAL, 2009). A MOS é o substrato que sob efeito do processo de humificação pelos microrganismos podem formar compostos de alto grau de modificação, chamados de substâncias húmicas (SH) (SANTOS et al., 2013; MICHEL et al., 1996).

As substâncias húmicas representam cerca de 80% do conteúdo de MOS presentes no solo (KONOVA, 1966; SCHNITZER; KHAN, 1972; WOOD, 1996; SANTOS; CAMARGO,

1999), e pode ser entendido como uma combinação de polieletrólitos, resultado da ação biológica dos microrganismos sobre restos vegetais e animais (STEVENSON, 1994; ROCHA et al., 2000), sendo este considerável como frações mais estáveis da MOS, permanecendo por um longo período no solo. O H_{LIFS} é utilizado como um índice que visa avaliar o quão estável ou humificado está a MOS (XAVIER, 2014), visto que quanto mais humificados a MOS está, mais duráveis serão (FERREIRA et al., 2014). Portanto a determinação do grau de humificação da MOS é um importante indicativo da estabilidade deste componente no solo (XAVIER, 2014).

Existem diversos mecanismos ou métodos para a obtenção H_{LIFS} , como o Electron spin resonance (ESR) (MARTIN-NETO et al., 1998), Carbon-13NMR (PILLON, 2000) e fluorescence spectroscopy (LIFS) (MILORI et al., 2002). Segundo Milori (2005), apesar do potencial do uso do ESR e Carbon-13NMR, os dois apresentam limitações em suas aplicações quando utilizadas em solos que contém Fe^{3+} , o que pode comprometer as análises, visto que solos tropicais e subtropicais exibem altas concentrações deste óxido. Por esse motivo, o emprego do LIFS apresenta vantagens por não sofrer influência deste óxido (MILORI, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREAS EXPERIMENTAIS

Todas as áreas experimentais utilizadas neste estudo são pertencentes à Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia Câmpus de Ilha Solteira (UNESP), localizada no município de Selvíria-MS, à margem direita do rio Paraná, com coordenadas 20° 22' 31" de latitude Sul e 51° 24' 12" de longitude Oeste, com 363 m acima do nível do mar.(Figura 1).

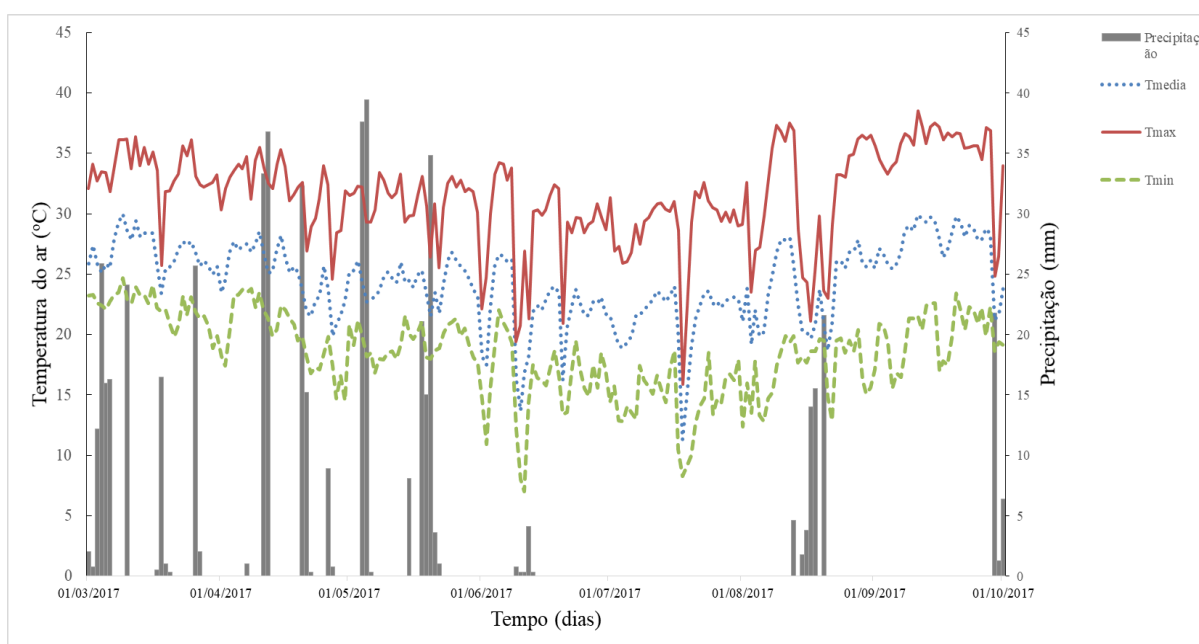
Figura 1- Localização das áreas estudadas no município de Selvíria -MS obtida via drone.



Fonte: Neves (2017).

O clima da região foi classificado como C1dAa' pelo sistema de Thornthwaite (ROLIM et al., 2007), indicando uma região sub-úmido seco, sem excedentes hídricos, megatérmico com evapotranspiração no verão menor que 48% da evapotranspiração anual, temperatura média anual de 23,5 °C e precipitação pluvial média anual de 1.300 mm, com período de maior concentração entre os meses de novembro a abril, invernos secos de maio a setembro (Figura 2). A vegetação original encontrada na área foi descrita como cerrado típico, com predomínio de formas arbustivas em solo profundo, pouco fértil. O solo das áreas experimentais foi classificado conforme Santos et al. (2013) em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, A moderado (Haplic Acrustox), com declive de 0,025 m m⁻¹. O relevo é caracterizado como moderadamente plano e ondulado.

Figura 2 - Precipitação pluvial (mm), e temperaturas (°C) máxima, média e mínima, durante os 210 dias de condução do experimento. Selviria – MS, 2017.



Fonte: próprio autor.

Os locais de avaliação foram selecionados pois representam usos da terra típicos da região, onde os processos envolvidos na mudança do uso e manejo ocorreram em áreas próximas, com o mesmo tipo de solo, sem variações de temperatura e regime de chuvas. As áreas possuíam um solo recoberto por vegetação nativa do Cerrado até a década de 1970, sendo que no ano 1978

foram desmatadas e passaram a ser conduzidas com culturas anuais (milho, soja, algodão e adubos verdes) até o ano de 1986 (CAVENAGE et al., 1999; SOUZA; ALVES, 2003). No ano de 1986, as áreas foram convertidas para diferentes usos, os quais foram: uma área de três hectares constituída por uma população base de *Eucalyptus camadulensis*, sob o espaçamento de 4×4 m, três hectares de *Pinus caribae* var. *hondurensis* (PI), IPF: área silvopastoril (SI), (floresta de Aroeira-vermelha com capim *Urochloa decumbens* e pastejo bovino). Portanto, vale ressaltar que as áreas de PI, EU e SI apresentam trinta anos de conversão, constituindo assim sistemas bem estabelecidos em seus usos típicos. A avaliação da área de vegetação nativa de Cerrado (CE) foi utilizada como uma linha de base para as análises, pois essa área representa a condição anterior às mudanças do uso da terra resultadas a partir dos diferentes manejos.

3.2 EMISSÃO DE CO₂ TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO

A emissão de CO₂ do solo foi registrado por meio do sistema LI-COR (LI-8100). Em seu modo de medição, o sistema monitorou as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara (Figura 3) por meio de espectroscopia na região do infravermelho. A câmara para solos apresenta volume interno de 854,2 cm³ com área de contato circular de 83,7 cm². Essa câmara foi acoplada sobre colares de PVC com dimensões de aproximadamente quatro polegadas de diâmetro e sete a oito cm de altura. Os anéis foram previamente inseridos no solo em cada um dos vinte pontos amostrais por manejo, na camada de 0.03 m, enquanto que o restante do colar servia como base para o encaixe da câmara (0,04 a 0,05 m) do LI-COR. A concentração de CO₂ foi determinada a cada 1,0 segundo (em ppm), totalizando 1,0 minuto de análise em cada ponto amostral da área, ao passo que no final da leitura o equipamento calcula o valor do FCO₂ (mmol.m⁻² s⁻¹) por meio de um ajuste da concentração de CO₂ do ar dentro da câmara em função de uma regressão parabólica no tempo. A temperatura do solo (Ts) e a umidade do solo (Us) foram avaliadas em todos os pontos estudados FCO₂, com auxílio de um termômetro digital (Figura 4), do tipo espeto. A umidade foi determinada por meio de um equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália) (Figura 5); que consiste de duas hastes metálicas com 0,2 m inseridas perpendicularmente no solo, próximo dos pontos amostrados de avaliação de emissão de CO₂. O mecanismo de funcionamento do TDR

se dá através da medição do tempo médio necessário para um pulso eletromagnético ser percebido em um espaço de distância entre duas hastes, a partir disso o tempo é relacionado com a constante dielétrica média onde a sonda-guia foi inserida (XAVIER, 2014).

As leituras foram conduzidas em um período total de 210 dias, entre meses de março a outubro de 2017, totalizando 18 avaliações, com 20 pontos analisados por tratamento. Os pontos foram aleatorizados a fim de obter uma maior cobertura da área experimental.

Figura 3- Sistema LI-8100 interligado à câmara de solos (a), e câmara para solo inserida sobre o colar de PVC (b).



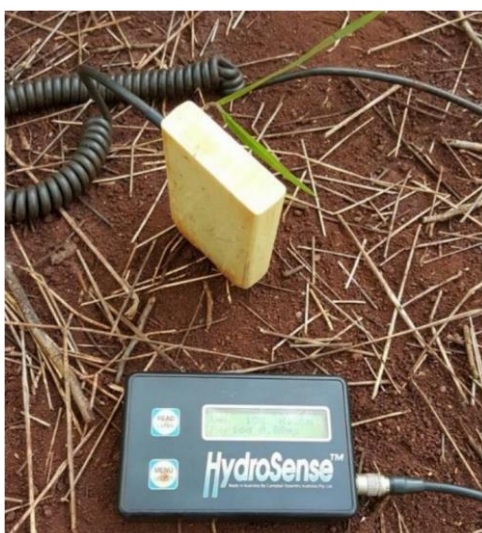
Fonte: próprio autor.

Figura 4- Termômetro digital, do tipo espeto, inserido no solo próximo ao colar de PVC.



Fonte: próprio autor

Figura 5- Equipamento TDR, inserido no solo próximo ao colar de PVC.



Fonte: próprio autor

3.3 ABSORÇÃO DE O₂

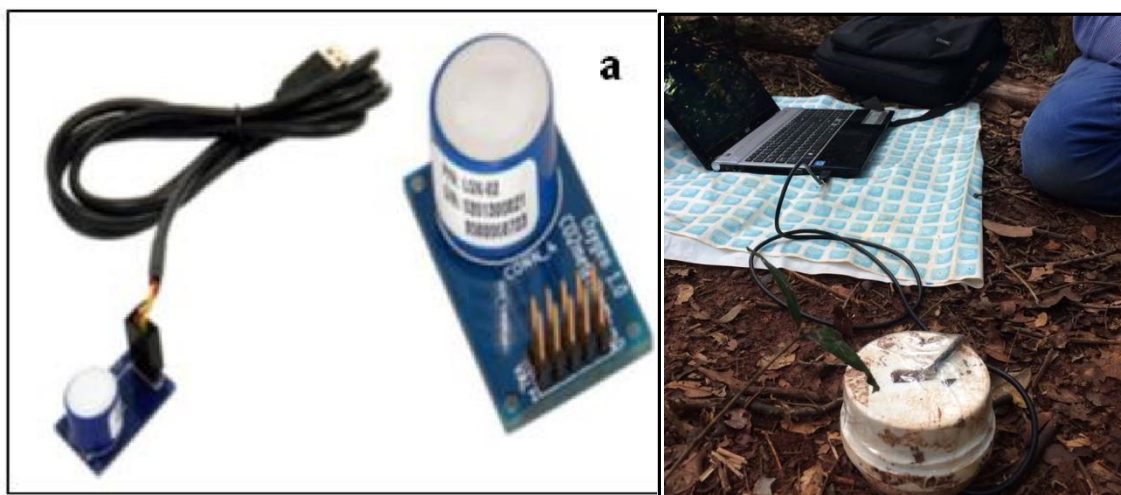
Para a determinação da absorção e ou (captura) de O₂ do solo foram selecionados dez pontos aleatórios em cada área, nos mesmos pontos em que eram lidas as emissões de CO₂, sendo a determinação de EO₂ realizada por meio de um sensor portátil UV Flux no ambiente no âmbito de 0-25%. (CO₂Meter, Inc.) (Figura 6). Tal sistema é constituído de um sensor portátil

que utiliza o princípio da fluorescência com a luz ultravioleta (UV) para determinar a concentração do oxigênio no ambiente. O mesmo é adaptado ao computador e utiliza o software Gas-Lab® para configuração, calibração e registro dos dados em tempo real. A taxa de captura do O₂ do solo (dO₂/dt) foi calculada por interpolação linear dos valores de concentração do gás no interior da câmara em função do tempo, da pressão atmosférica, da temperatura do ar e do volume do gás preso na câmara (JASSAL et al., 2012; GIACOMO et al., 2014).

$$FO_2(g \cdot m^{-2} s^{-1}) = \frac{dO_2}{dt} \frac{10^{-6} PM}{RT} H \quad \text{Equação (1)}$$

Em que O₂ (partes por milhão) medida no tempo (s); P: pressão atmosférica (Pa); M: O₂ molar mass (g m⁻³); R: constate universal dos gases (8,31 J mol⁻¹ k⁻¹); T: é a temperatura absoluta (K); H (V/A): volume (0,00066 m³) e área de seção transversal (0,008 m²) da câmara acima do solo (superfície do solo).

Figura 6- Sistema UV Flux 25% (a), utilizado para a determinação das taxas de captura de oxigênio e monitoramento da concentração de O₂ em área de CE (b)



Fonte: ManualSensor UV Flux 25% Oxygen (a) (2017). Próprio autor (b) (2017).

O quociente respiratório é a razão entre o volume de CO₂ produzido e o volume de O₂ absorvido na respiração ao longo de um período de tempo. Seu valor pode ser um, zero, maior ou menor que um. Com os resultados das emissões de CO₂ e valores de absorção de O₂ foi calculado RQ expresso (mol mol⁻¹).

$$RQ = \frac{FCO_2}{EO_2} \quad \text{Equação (2)}$$

3.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

Após o período de avaliação, foram feitas as amostragens do solo nas camadas de 0,0 a 0,1; 0,1 a 0,2, 0,2 a 0,3 e 0,3 a 0,4 m em todos os 20 pontos em que o FCO_2 foi avaliado. As amostras foram levadas ao laboratório de química do solo (UNESP/Ilha Solteira), onde foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passaram pela peneira de malha 2 mm (TFSA).

As seguintes análises de rotina foram realizadas: potencial hidrogeniônico (pH), determinação do teor de matéria orgânica do solo (MO) (RAIJ et al., 1987), P disponível (P), potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), soma de bases (SB), e acidez potencial (H+Al). Os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e fósforo disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ, 2001); a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por base (V%) também foram calculados, conforme Embrapa (1997). A determinação do teor de nitrogênio foi realizada por meio de digestão sulfúrica segundo método proposto por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise química do solo nos manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.

MANEJOS	pH (CaCl)	MO	CTC	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
		-----g dm ⁻³ -----					-----mmol _c dm ⁻³ -----		
CE	4,11	31,00	83,21	1,61	11,93	8,07	61,60	12,33	21,61
EU	4,31	20,76	87,00	1,44	16,68	13,2	55,68	5,88	31,32
SI	3,99	30,73	111,05	4,38	7,33	8,67	90,67	14,40	20,38
PI	4,01	19,48	82,60	0,76	5,04	3,2	73,6	14,00	9,00

pH- potencial hidrogeniônico, CTC- capacidade de troca de cátions, MO- matéria orgânica, K- potássio, Ca- cálcio, Mg- magnésio, H+Al – acidez potencial, Al- alumínio, SB- soma de bases. Fonte: próprio autor.

Os estoques de C (EC) foram ajustados para as mudanças na densidade do solo (D_s) que ocorrem após o MUT nas áreas. Para isso, foi utilizada a metodologia descrita por Ellert e Bettany (1995) para corrigir os estoques de carbono do solo em uma profundidade de massa equivalente, ou seja, a profundidade do solo das áreas manejadas (CE, EU, PI e SI) que contém a mesma massa de solo como a camada correspondente (0 – 40 cm) na área de vegetação nativa de Cerrado (área de referência). Os cálculos da camada de solo equivalente foram realizados de acordo com o apresentado por Carvalho et al. (2009) e Segnini et al. (2013):

$$\text{camada de solo equivalente (cm)} = \frac{M_{CE}}{M_{\text{área}}} \times 10 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde M_{CE} é a média ponderada da densidade do solo (D_s) nas respectivas camadas de solo na área de cerrado nativo (CE); $M_{\text{área}}$ é a média ponderada de D_s nas respectivas camadas do solo em cada área (CE, EU, PI e SI) e, o valor 10 é relacionado com a profundidade do solo de 0 a 40 cm na área de referência (Cerrado nativo).

O estoque de carbono (Mg ha^{-1}) foi calculado para cada camada de solo multiplicando o CO é o teor de carbono orgânico oxidável (g kg^{-1}), D_s é a densidade do solo (kg dm^{-3}), E a espessura da camadas equivalente, dividida pela pela espessura da camada de solo equivalente (10, 20, 30 ou 40 cm) (BAYER et al., 2000a).

$$\text{EC} = (\text{CO} \times D_s \times E) / 10 \quad \text{Equação (4)}$$

A densidade do solo foi determinada em amostras indeformadas coletadas com amostrador adaptado a cilindros com dimensões médias de 5,0 cm de diâmetro interno e 4,0 cm de altura (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 2011). O volume total de poros foi calculado com base no valor de densidade. A distribuição de poros por tamanho, macroporosidade e microporosidade foi determinada utilizando-se funil de placa porosa sob a tensão de 60 cm de altura de coluna d'água em amostras previamente saturadas. O volume

de água retido na amostra nesta condição corresponde aos microporos, e os macroporos foram calculados por diferença, conforme proposto pela embrapa, 2011 (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise física do solo nos manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.

MANEJOS	MACRO	MICRO	PT	Ds	Dp
	-----m ³ m ⁻³ -----kg dm ⁻³ -----				
CE	0,19	0,29	0,48	1,20	2,31
EU	0,08	0,31	0,39	1,48	2,45
SI	0,11	0,41	0,52	1,23	2,58
PI	0,04	0,37	0,41	1,57	2,67

MACRO- macroporosidade do solo, MICRO- microporosidade do solo, PT- porosidade total do solo, Ds- densidade do solo, Dp- densidade de partículas. Fonte: próprio autor.

3.5 CONSTANTE DE DECAIMENTO DO CARBONO

O fator de decaimento ou a constante de decaimento k (tempo⁻¹) foi calculado empiricamente pela equação 5:

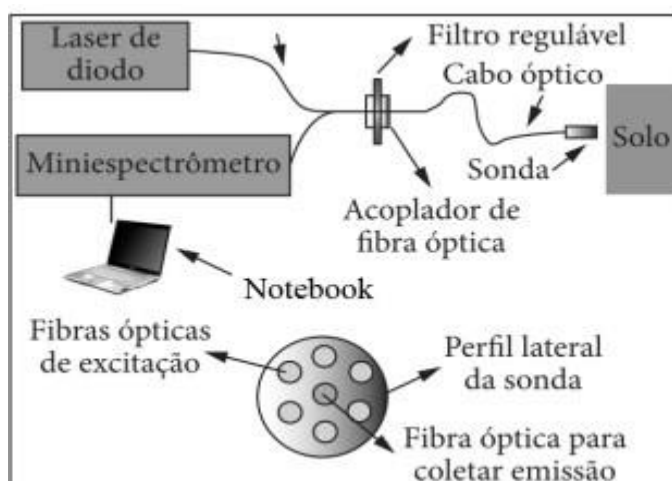
$$k = \frac{F_{C-CO_2}}{EC} \text{ Equação (5)}$$

Onde F_{C-CO_2} é a emissão de carbono (CO₂) determinado nas áreas de estudo e EC é o estoque de carbono do solo (Mg ha⁻¹). Maiores valores de k estão associados às regiões com baixa estabilidade do carbono, ou seja, carbono prontamente decomponível à decomposição microbiana, tais pontos amostrais são considerados potenciais fontes de CO₂ para a atmosfera. Por outro lado, menores valores de k indicam regiões com maior estabilidade do carbono, consideradas potenciais sumidouros ou eventualmente zonas de acúmulo de carbono no solo.

3.6 GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Para a determinação do H_{LIFS} foram utilizadas as análises de fluorescência induzida por laser (LIFS). A técnica de fluorescência induzida por laser (LIFS) tem como princípio básico a excitação das amostras do solo com um laser de emissão, na região do ultravioleta/azul, resultando na fluorescência de grupos funcionais da matéria orgânica (Figura 7), relacionados com o processo de humificação (MILORI et al., 2006). O LIFS opera através de um laser de diodo emitido na região de 405 nm, com potência máxima de 50 mW (XAVIER, 2014).

Figura 7- Mecanismo de funcionamento do LIFS.



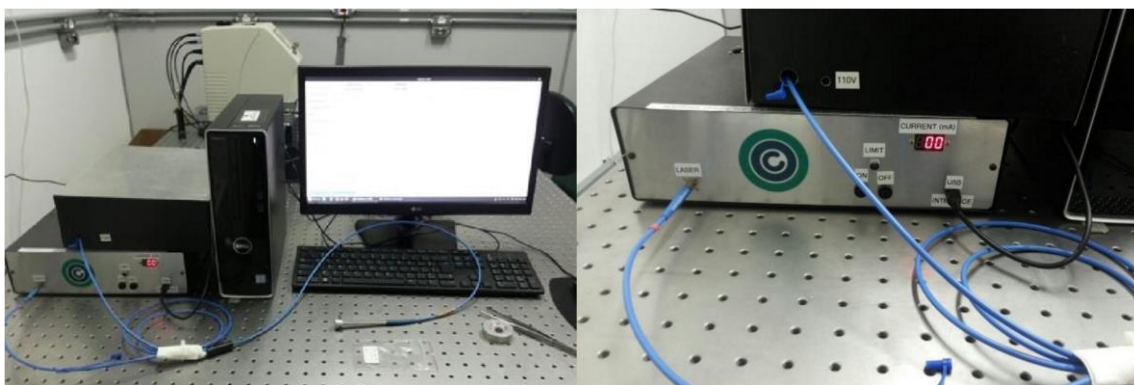
Fonte: Xavier (2014) adaptado de Milori et al. (2011).

A equação para a determinação do H_{LIFS} foi proposta por Milori et. al., (2006), em que fA corresponde a área de fluorescência sob o espectro, e tC é o teor de carbono total. A equação 6 é apresentada a seguir:

$$H_{FII} = \frac{fA}{tC} \quad \text{Equação (6)}$$

Os espectros LIFS foram capturados utilizando um sistema montado pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (Figura 8). A área do espectro LIFS de cada amostra de solo foi dividida pelo teor de carbono correspondente, obtida pelo método combustão úmida ou determinação por dicromato, calculando-se assim os sinais de fluorescência normalizada, que então foram definidos como o grau de humificação da matéria orgânica do solo. Vale ressaltar que o índice de H_{LIFS} caracteriza propriedades do sistema oriundos da relação dos quocientes de quantidades cujas unidades se cancelam, sendo essa uma medida adimensional.

Figura 8 - Sistema de medida de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS), Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos – SP.



Fonte: próprio autor.

Para que as amostras pudessem serem utilizadas no LIFS houve necessidade de preparar as pastilhas para sua posterior utilização. As amostras de solos foram então previamente moídas e prensadas por meio de uma prensa hidráulica, na qual aplicou-se uma carga de 6 toneladas por um período de 3 minutos (Figura 9).

Figura 9 – Prensa hidráulica, e balança de precisão utilizada na elaboração das pastilhas.

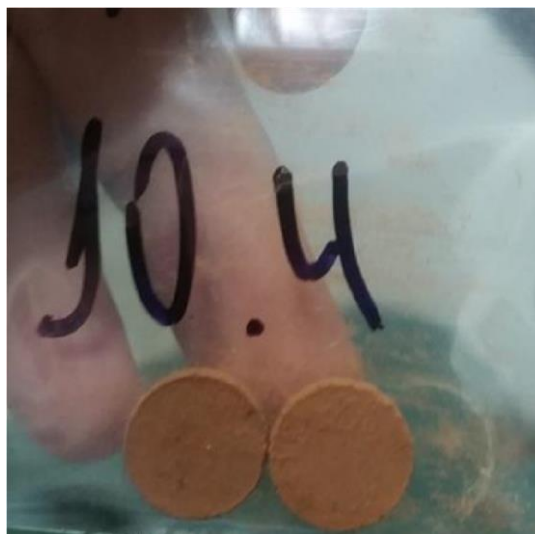


Fonte: próprio autor.

Foram preparadas 2 pastilhas por amostra de solo, que continham, aproximadamente, uma massa de 0,5g cada, pesadas em balança de precisão anteriormente (Figura 10). No final do processo obtinha-se pastilhas com 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, padronizando assim a forma física das amostras.

As amostras foram analisadas com 2 repetições por pastilha, totalizando 4 repetições por amostra, para assim retirar a média do grau de humificação de cada pastilha. Foi seguido a metodologia proposto por Milori et al. (2011), que trabalhou na região espectral de 475 a 800nm, com intensidade de 0-4000, tempo de integração 500 ms e box car igual a 4.

Figura 10 – Pastilha de 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura utilizada nas análises de fluorescência induzida por laser (LIFS).



Fonte: próprio autor.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados, inicialmente, por meio da estatística descritiva (média, erro-padrão da média, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação, assimetria e curtose). Foi realizado o teste de Teste de Shapiro-Wilk, verificar a normalidade dos dados. As variáveis foram analisadas por medidas repetidas no tempo, por meio de modelos mistos. Os dados foram avaliados pelo procedimento PROC MIXED do SAS (SAS versão 9.3, SAS instituto, Cary, NC, EUA). As análises da variância e de correlação linear entre as variáveis foram realizadas, utilizando o sistema SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, Cary, NC, EUA). A comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva de emissão de CO₂ do solo, absorção de O₂, temperatura, umidade e coeficiente metabólico (RQ) do solo durante o período de avaliação (210 dias), nas áreas avaliadas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Estatística descritiva da emissão de CO₂ do solo e demais variáveis ao longo de 210 dias de avaliação na área de Cerrado, MS, período de março de 2017 a novembro de 2017.

	Média	Mediana	DP	CV (%)	Coef. Ass.	Coef. Curt.
Emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)						
CE	4,55a	4,09	2,26	49,75	1,04	0,0040
EU	3,96b	3,68	1,92	48,43	0,78	0,0031
PI	2,98cd	2,66	1,52	51,13	1,11	0,0056
SI	3,22c	2,95	1,72	53,63	3,10	0,0642
Absorção de O ₂ do solo (mg m ⁻² s ⁻¹)						
CE	0,21ab	0,21	0,10	49,88	0,24	-0,0065
EU	0,19ab	0,15	0,11	58,19	0,27	-0,0063
PI	0,15b	0,14	0,06	40,03	0,21	-0,0074
SI	0,25a	0,21	0,07	30,81	0,07	-0,0089
Temperatura do solo (°C)						
CE	22,96c	23,10	1,95	8,49	-0,10	-0,0027
EU	23,76b	23,90	2,03	8,54	-0,09	-0,0022
PI	23,61b	23,90	2,33	9,87	-2,39	0,0665
SI	24,58a	24,90	2,49	10,14	-0,49	-0,0007
Umidade do solo (%)						
CE	5,03b	5,00	1,80	35,90	0,12	0,0037
EU	5,55b	5,00	3,36	60,45	1,12	0,0045
PI	5,94b	5,00	3,89	60,55	8,20	0,0215
SI	12,56a	9,00	1,06	88,07	3,08	0,0392
RQ (mol mol ⁻¹)						
CE	1,23a	1,17	0,67	54,91	0,18	-0,0080
EU	0,71bc	0,61	0,40	56,66	0,23	-0,0066
PI	0,83b	0,75	0,48	58,49	0,17	-0,0075
SI	0,68bc	0,52	0,53	77,86	0,28	-0,0063

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: próprio autor.

Os valores médios de FCO_2 durante o período total de avaliação (210 dias, que compreende as datas 29/03 a 21/10 de 2017). O manejo PI foi o manejo que apresentou a menor média do período avaliado diferindo significativamente das demais ($p < 0,05$), seguidas em ordem decrescente pelo SI, EU e CE. A área de CE apresentou a maior emissão ($4,55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante o intervalo de avaliação. Esses resultados corroboram o que outros autores encontraram trabalhando em áreas de florestas tropicais da Amazônia (SOTTA et al., 2004). Cabe citar o trabalho de Pinto Junior et al. (2009) que avaliando o efluxo de CO_2 em floresta de transição amazônica cerrado do solo verificaram valores médios de $5,48 \pm 0,66 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, portanto altas emissões são amplamente reportadas em áreas de vegetações nativas. Isso deve ao maior input de carbono que ocorre nessas áreas, promovendo uma maior diversidade de microrganismos e de material vegetal para decompor. Os valores de coeficiente de variação (CV) de FCO_2 observados variaram entre 48 a 59% para os manejos avaliados. Tais valores podem ser considerados altos ($>24\%$) segundo os critérios de classificação proposto por Warrick e Nielsen (1980), indicando que o conjunto de dados utilizados nos cálculos apresentaram grandes variações entre os pontos do mesmo manejo. Valores similares de CV foram encontrados por: Panosso et al., (2008, 2009) em cultivos de cana-de-açúcar, La Scala et al. (2003) avaliando a variabilidade espacial e temporal da emissão de CO_2 (20,3% a 28,7%), e Epron et al. (2004) em áreas de floresta. Isso se deve a influência de inúmeros atributos físicos, químicos e biológicos do solo que interagem entre si e governam o padrão temporal do FCO_2 (MOITINHO, 2013), provocando altas variações de CV.

As médias de absorção de O_2 do solo apresentaram variações de $0,21 \text{ mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $0,19 \text{ mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $0,15 \text{ mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $0,25 \text{ mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as áreas de CE, EU, PI e SI, respectivamente. O FO_2 diferiu significativamente apenas para o PI, que apresentou a menor média de absorção de O_2 durante todo o período estudado, ou seja, houve uma menor difusão do gás O_2 nesse manejo, esse fenômeno provavelmente ocorreu devido a menor densidade do solo (Tabela 2), pois qualquer alteração nos atributos físicos do solo, contribui para modificar o fluxo de água e ar no solo (KLEIN; LIBARD, 2002).

Taxas de FO_2 semelhantes foram observados por Almeida (2017) que avaliou a absorção de O_2 em dois sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar no interior paulista a fim de relacionar esta com o FCO_2 .

As médias de T_s observadas para SI, PI, EU, CE variaram de $24,58^\circ\text{C}$ a $22,10^\circ\text{C}$. Esses resultados corroboram aos observados por Panosso (2011) observou trabalhando com dois sistemas de manejo, cana crua e cana queimada, onde obteve-se médias de T_s que variaram de $20,35$ e $19,44^\circ\text{C}$, respectivamente. O CE foi o manejo que resultou em menores valores de T_s ,

essa diferença observada entre os demais manejos ocorre devido a cobertura do solo e o dossel florestal no CE ser maior, funcionando como proteção, reduzindo a amplitude de temperatura e, como consequência reduzindo a evapotranspiração (FURLANI et. al., 2008).

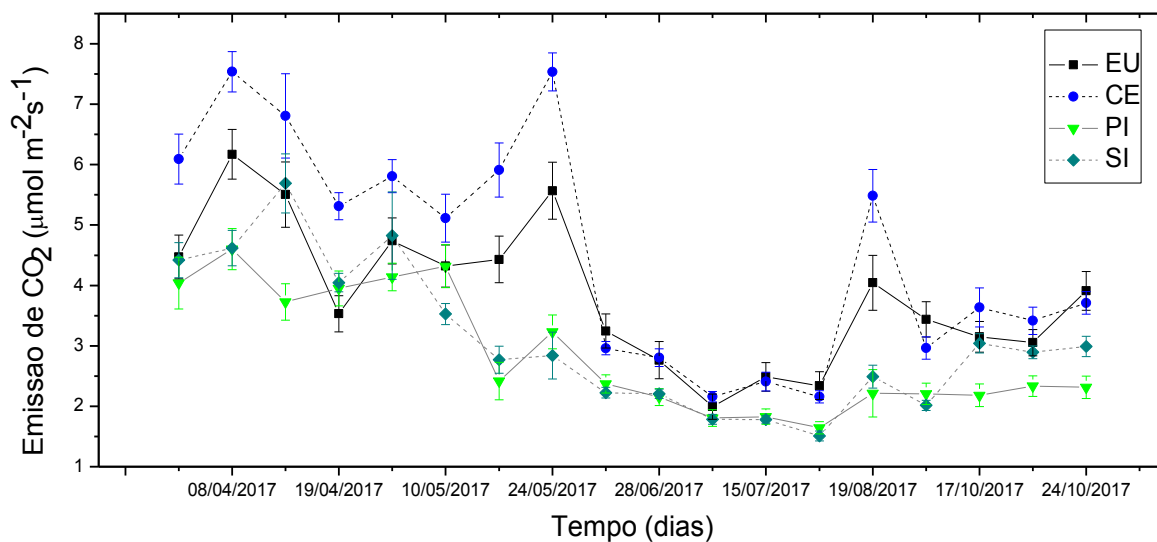
Os valores médios de U_s foram de 5,03%; 5,55%; 5,94% e 12,56% para a CE, EU, PI e SI, com CV variando de 6,55 % a 88,07 %, respectivamente (Tabela 2). Os valores U_s avaliadas nos dias estudados, indicaram que o SI foi o manejo que apresentou maior taxa comparando com os demais manejos PI, EU e CE. Furlani et al. (2008) observaram maiores teores de água no solo em sistema plantio direto em rotação com culturas de inverno do que em sistema de plantio convencional sob a rotação das mesmas culturas. Em estudos conduzidos por Sartor et al. (2007) em SI reflorestado com *Pinus ssp.* há 10 anos verificou um maior teor de umidade do solo quando comparados com áreas sem árvores. Esses resultados encontrados no SI confirmam que a ação da interceptação solar do dossel florestal do SI e a cobertura promovida pela palhada da *Uroclora decumbens*, fornecendo assim um microclima favorável à manutenção da U_s , corroborando assim com os maiores valores de U_s observados para o SI neste estudo.

Os valores médios observados de RQ manteve-se abaixo de 1 ($RQ < 1$) para o EU, PI e SI, ao passo que, para a CE este valor foi de 1,23, indicando que a emissão de CO_2 nesse sistema foi maior do que a entrada de O_2 , por este manejo apresentar ácidos orgânicos derivados de exsudados radiculares ou outras substâncias orgânicas contendo mais O_2 promovendo as taxas de $RQ > 1$ (DILLY, 2001) (Tabela 2). Os resultados observados para o EU, PI e SI se assemelha ao reportado por Dilly (2003) e Dilly (2001) que frequentemente encontrava valores de RQ abaixo de 1, em estudos conduzidos sob diferentes sistemas agrícolas e florestais.

4.1 MEDIDAS REPETIDAS NO TEMPO ENTRE OS FATORES MANEJOS DO SOLO E TEMPO

A análise de variância de medidas repetidas no tempo apresentou interação significativa ($p < 0.001$) entre os fatores manejos do solo e tempo, indicando que houve a influência do tempo na emissão de CO_2 nas diferentes áreas estudadas. As leituras iniciais de FCO_2 ocorreram nos dias 29/03 e 08/04 de 2017, sendo que o dia 08/04 apresentou o maior fluxo em todas as áreas (Figura 11).

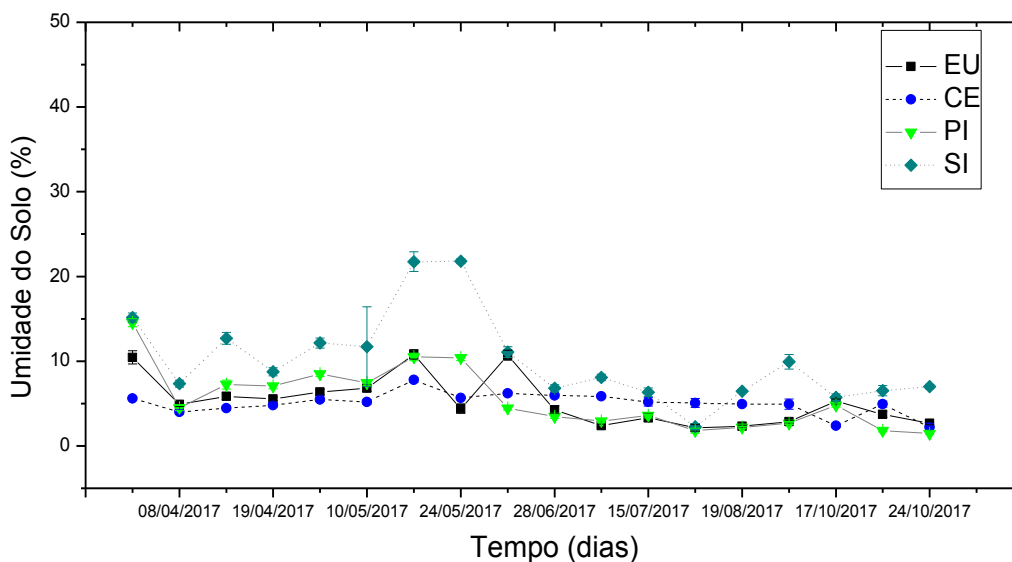
Figura 11- Emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ao longo dos 210 dias de experimento.



Fonte: próprio autor.

Os valores médios de umidade do solo (Us) nesse período foram baixos (4,90; 4,00; 4,50; 7,35 %) para EU, CE, PI e SI, respectivamente, conforme a Figura 4.

Figura 12- Umidade do solo (%) ao longo dos 210 dias de experimento.

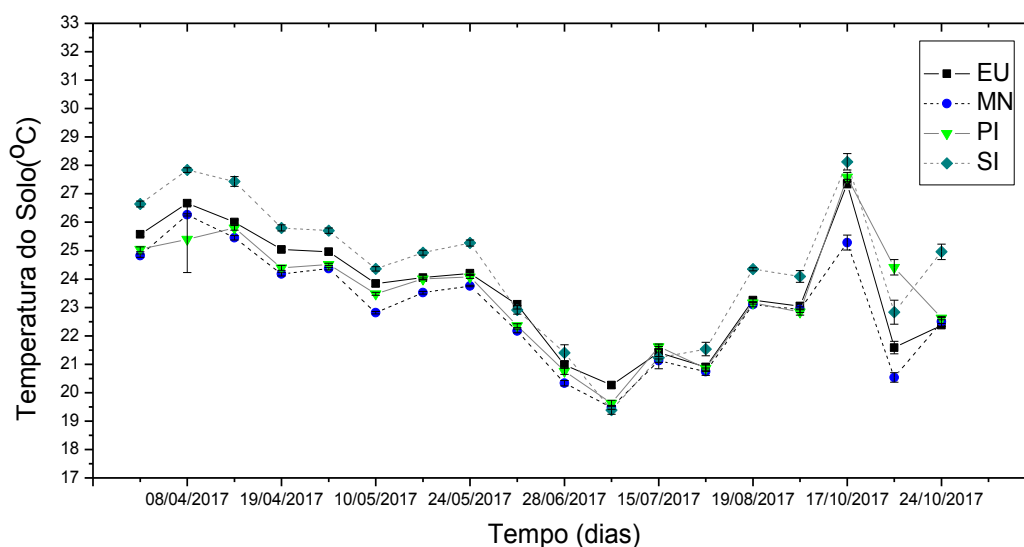


Fonte: próprio autor.

No entanto, os maiores fluxos (Figura 11) nesse dia coincidiram com os maiores valores de Ts (26,67; 26,26; 25,40; 27,84 ° C) e de captura de O₂ para as mesmas áreas (Figura 12 e 14).

Pode-se inferir que a elevação na temperatura do solo incrementou a mineralização da matéria orgânica pelo aumento do metabolismo microbiano, elevando também o consumo de O_2 nas áreas analisadas. Nas leituras dos dias 15/04, o FCO_2 apresentou uma redução de valores em todos os manejos, nesse mesmo período, a T_s e o FO_2 apresentaram uma redução, comparada à leitura anterior, contudo, a taxa de U_s mostrou um leve aumento.

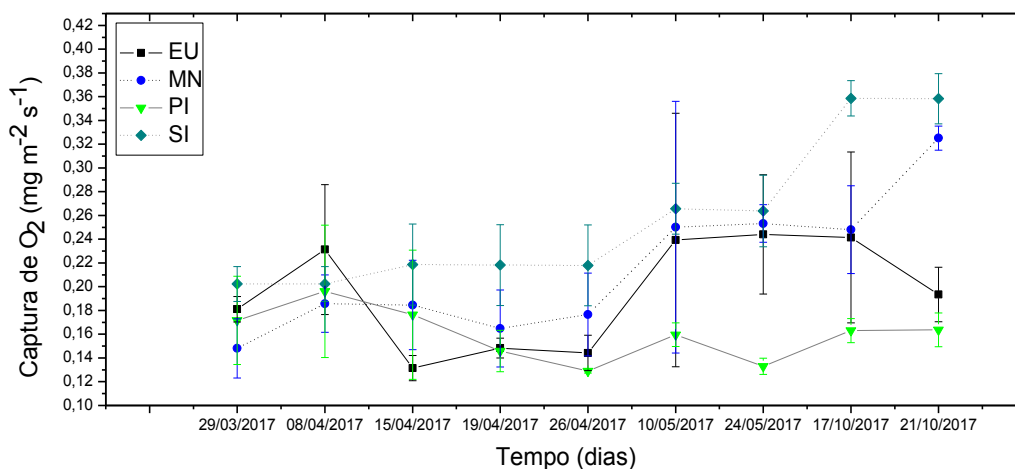
Figura 13- Temperatura do solo ($^{\circ}C$) ao longo dos 210 dias de experimento.



Fonte: próprio autor.

No final do mês de abril, nas leituras do dia 19/04, as emissões médias atingiram o menor patamar, apresentando taxas de 3,53; 5,31; 3,95 e 4,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto que a U_s foi 1,5% superior que as leituras anteriores para EU, CE, PI, e de 3,5% para o SI. A T_s e o FO_2 permaneceram praticamente constantes em comparação a leitura anterior, com poucas variações ao longo do período de estudo (Figura 13 e 14).

Figura 14- Captura de O₂ (mg m⁻² s⁻¹) ao longo dos 210 dias de experimento.



Fonte: próprio autor.

As leituras a partir do dia 26/04, 10/05, 17/05 até o dia 24/05, apresentaram um constante aumento no FCO₂, diferindo apenas para as áreas de PI e SI que apresentaram um decréscimo nos dias 17/05 e 24/05 de leitura. A temperatura nesse período apresentou valores médios em torno de 24 °C nas duas áreas. A Us nos dias 26/04 e 10/05 permaneceram constantes, apresentando pouca variação, porém nos dias 17/05 e 24/05 a Us exibiu um aumento de 3 a 4 % para o EU, CE, PI e de quase 10% para o SI, que foi o valor mais alto observado desde o primeiro dia de avaliação. Esse aumento na umidade coincidiu com a diminuição no FCO₂ para o PI e o SI no mesmo período, comprovando o que van Straaten et al. (2009) afirmaram, que a umidade do solo pode tanto favorecer ou inibir o fluxo do gás. Diversos autores relatam a interferência das precipitações no FCO₂ e a Us (DUIKER; LAL, 2000; LA SCALA et al., 2001; LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2009; PANOSSO et al., 2011; LEON et al., 2014; SIGNOR et al., 2014; MOITINHO et al., 2015). A absorção de O₂ apresentou um acréscimo a contar do dia 29 e permaneceu constante até o dia 24/05.

Nas leituras dos dias 24/06, 28/06, 05/07, 15/07 e 28/07 as emissões de CO₂ mostraram um declínio iniciando com valores de 3,25; 2,96; 2,37 e 2,23 μmol m⁻² s⁻¹ e depois de 2,34; 2,16; 1,64 e 1,5 μmol m⁻² s⁻¹ para os manejos de EU, CE, PI e SI. Essas leituras compreenderam o período da seca na região, onde as precipitações pluviais e temperaturas são baixas. Esse intervalo que compreendeu a 88ª a 122ª avaliação, realizadas nos meses de junho, julho, agosto e setembro de 2017, com precipitação média de 0,73mm, e a temperatura do solo variou em torno de 18 a 22 °C. As médias de FCO₂ encontradas no dia 24/06 provavelmente ocorreram devido ao alto teor

de água no solo, cujos valores foram de 10,70%, 6,20%, 4,47% e 11,07 % e a T_s maior comparada com as outras leituras (28/06, 05/07, 15/07 e 28/07) para EU, CE, PI e SI, respectivamente. Entretanto no dia 28/07 os baixos valores observados de T_s e U_s resultaram na diminuição das taxas de FCO_2 para o mesmo período. Esses resultados indicam a influência da produção de CO_2 no interior do solo está diretamente relacionada a esses atributos, uma vez que o maior ou menor valor desses atributos provocam alterações no FCO_2 (EPRON et al., 2006; LAL, 2009).

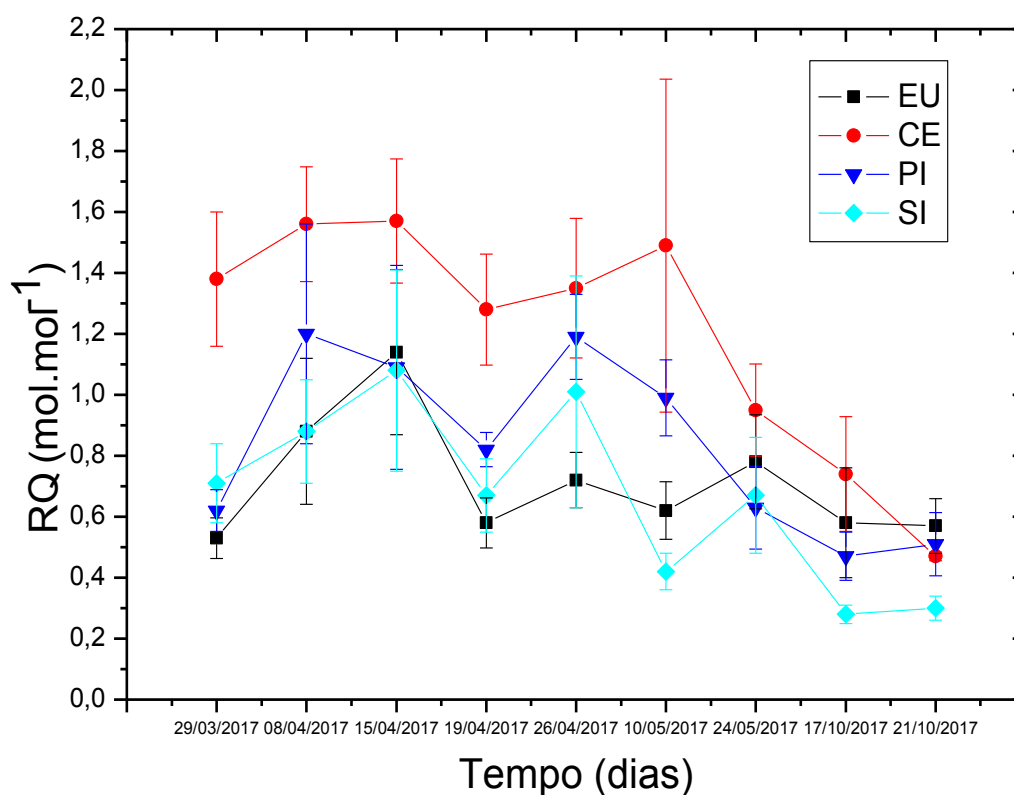
Para as leituras do dia 19/08, os manejos apresentaram uma emissão de FCO_2 maior na ordem média de $2,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o EU, CE, SI e de $1,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o PI. Foi observado nessa data um aumento significativo de T_s , ao mesmo tempo que a U_s permaneceu relativamente constante com valores baixos para todos os manejos.

A partir dos dias 29/08, 17/10, 21/10 e 24/10, a U_s apresentou uma baixa alteração em seus valores. Porém nessas mesmas datas, as taxas de T_s alcançaram o máximo valor já registrado, atingindo o pico no dia 203, com valores de temperatura do solo de $27,36^\circ \text{C}$; $25,28^\circ \text{C}$; $27,59^\circ \text{C}$ e $28,13^\circ \text{C}$ para EU, CE, PI e SI. Apesar disso, as médias de FCO_2 não mostraram um aumento significativo. Nos dias seguintes de avaliação (21/10 e 24/10), os valores de T_s tiveram um leve declínio, atingindo médias de 23°C .

No dia 24/10, último dia de avaliação, o CE, seguido do EU foram as áreas que emitiram mais CO_2 , ao passo que, o SI e o PI foram as que apresentaram menor FCO_2 . O PI foi o único manejo que ao longo dos 210 dias de estudo os valores de emissão ficaram abaixo de $5,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

As precipitações no período de avaliação não foram um fator significativo em relação ao FCO_2 e teor de U_s , em virtude de terem sido evitadas as leituras nos dias em que as áreas foram atingidas por chuvas superiores a 4 mm, a fim de impedir a substituição do ar encontrado nos poros pela água, o que poderia provocar o impedimento das trocas gasosas de CO_2 e O_2 com a atmosfera, pelo fato da maior dificuldade dos gases se difundirem no solo, além de proporcionar a criação de um ambiente em condições anaeróbicas (LUO; ZHOU, 2006), acarretando a inversão da rota metabólica do solo. O RQ ao longo dos 210 dias avaliados, nos cinco sistemas de uso do solo é apresentado na Figura 15, bem como as barras de desvio onde foram consideradas as repetições de cada manejo.

Figura 15- Razão entre a emissão de CO_2 e a absorção O_2 do solo ao longo dos 210 dias de experimento.



Fonte: próprio autor.

Ao longo dos 210 dias de leitura, os valores de RQ permaneceram em sua maioria abaixo do valor 1 ($\text{RQ} < 1$), principalmente para as áreas de EU e SI (Figura 15), indicando assim que o consumo de O_2 foi maior que a emissão de CO_2 . Em seus estudos, Dilly (2003) e Dilly (2001) no norte da Alemanha, observaram que em solos de ecossistemas agrícolas e florestais frequentemente constata-se valores de $\text{RQ} < 1$. Segundo o mesmo autor, o consumo de O_2 e a emissão CO_2 no solo e na serapilheira apresentam uma correlação alta, podendo explicar portando, os valores baixos de RQ para EU que possuem as maiores quantidades de serapilheira, média de $10,91 \text{ Mg ha}^{-1}$.

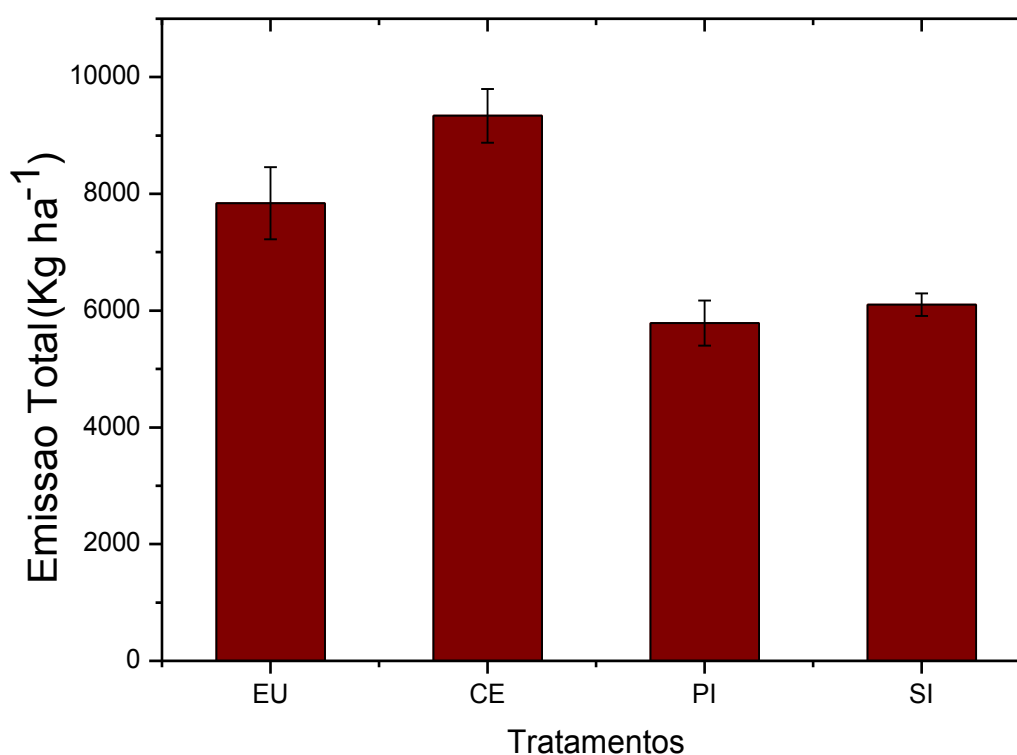
O CE foi o manejo que exibiu os maiores valores de RQ, devendo esse fato ser explicado pelas maiores emissões encontradas nessa área, além de constituir um sistema sem interferência antrópica, ou seja, a atividade microbiana e de raízes está em seu estado natural, promovendo assim uma intensa produção de CO_2 , elevando os valores de RQ nessa área para maiores que 1 mol mol^{-1} . Contudo, o presente estudo apresentou uma alta variabilidade dos dados analisados,

com isso, impossibilitou a obtenção de altas correlações entre as variáveis. Altas variações (valores diferentes de 1,0) também foram encontradas por Angert et al. (2015) que utilizou o O_2 para estudar as relações entre esse atributo com o CO_2 e a respiração do solo.

4.2 RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO_2 DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO

A emissão total (ET) e estoque de carbono (EC) nos sistemas de uso do solo avaliados constam na Figura 16 e 17, bem como as barras de desvio onde foram consideradas as repetições de cada manejo.

Figura 16- Emissão Total ($Kg\ ha^{-1}$) de C_CO_2 nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.

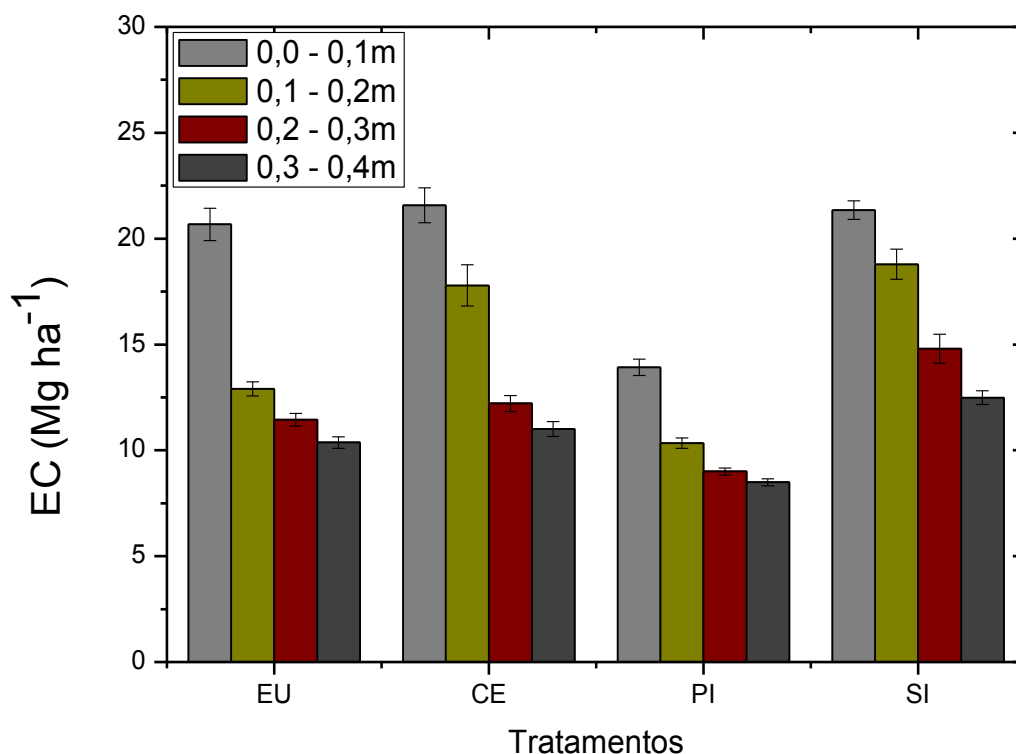


Fonte: próprio autor.

A ET variou de 5,78 t ha⁻¹ a 9,33 t ha⁻¹ diferindo significativamente ($p > 0,05\%$) para o teste Tukey conforme ilustra a Figura 16. As áreas de CE e EU apresentaram as maiores médias, ao passo que o SI e PI as menores. Nas EP o maior valor observado foi no CE (6,26 t ha⁻¹), enquanto que as menores foram no SI e no PI (3,89 e 3,67 t ha⁻¹), respectivamente. Esses resultados ressaltam a importância do sistema de produção e sua interferência no padrão de emissão de CO₂ dos solos. Nesse sentido, autores como Fuentes et al. (2011) e Carvalho (2010) sugerem que o uso de sistemas integrados, como o SI podem desempenhar um papel importante na mitigação do GEE.

O EC, apresentado na Figura 17, apontou diferenças em todos os manejos, para todas as profundidades, evidenciando assim o efeito de sistemas de produção no acúmulo de carbono no solo.

Figura 17- Estoque de Carbono do Solo Total e Parcial (Mg ha⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.

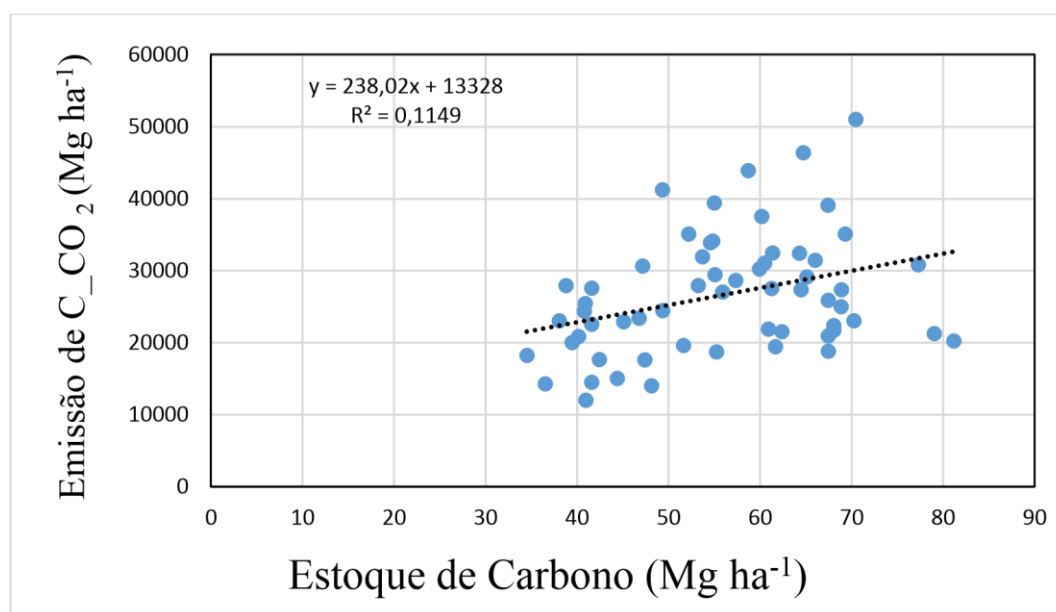


Fonte: próprio autor.

Para a camada de 0,0 a 0,1m, a CE proporcionou um maior EC (21,57 t ha⁻¹), seguidos do SI (21,34 t ha⁻¹), EU (20,67 t ha⁻¹), e PI (13,91 t ha⁻¹), respectivamente. Nas demais profundidades o SI exibiu os maiores teores de EC, sempre seguido da CE, EU e PI. Portanto, a utilização de espécies florestais possibilita a alocação de maiores teores de EC corroborando com o que Cardoso et al. (2010) constataram em seus estudos, que avaliando a influência de ambientes de produção, observaram valores de EC variando de 11 a 22 Mg ha⁻¹ em áreas florestais.

A Figura 18 mostra as análises de regressão linear entre o EC e o FCO₂ observadas no gráfico. O valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 0,11$ p < 0,0001) entre a FCO₂ e a EC, indica que, 11% da variabilidade da FCO₂ podem ser explicadas pelo EC (Figura 18). Apesar da fraca relação entre a emissão de CO₂, porém esta foi significativa (p < 0,01), indicando a influência do EC no FCO₂ do solo.

Figura 18- Gráfico da regressão linear para o Estoque de Carbono do Solo (Mg ha⁻¹) e Emissão de C_CO₂ (Kg ha⁻¹) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



Fonte: próprio autor.

O CE e o EU apresentaram altos valores de EC, que por sua vez exibiram também altos valores de ET/EP (kg ha⁻¹), demonstrando assim que a ciclagem de carbono nessas áreas é elevada, permitindo, portanto, o acúmulo de quantidades elevadas de EC, mesmo sob altas taxas de ET (Figura 16).

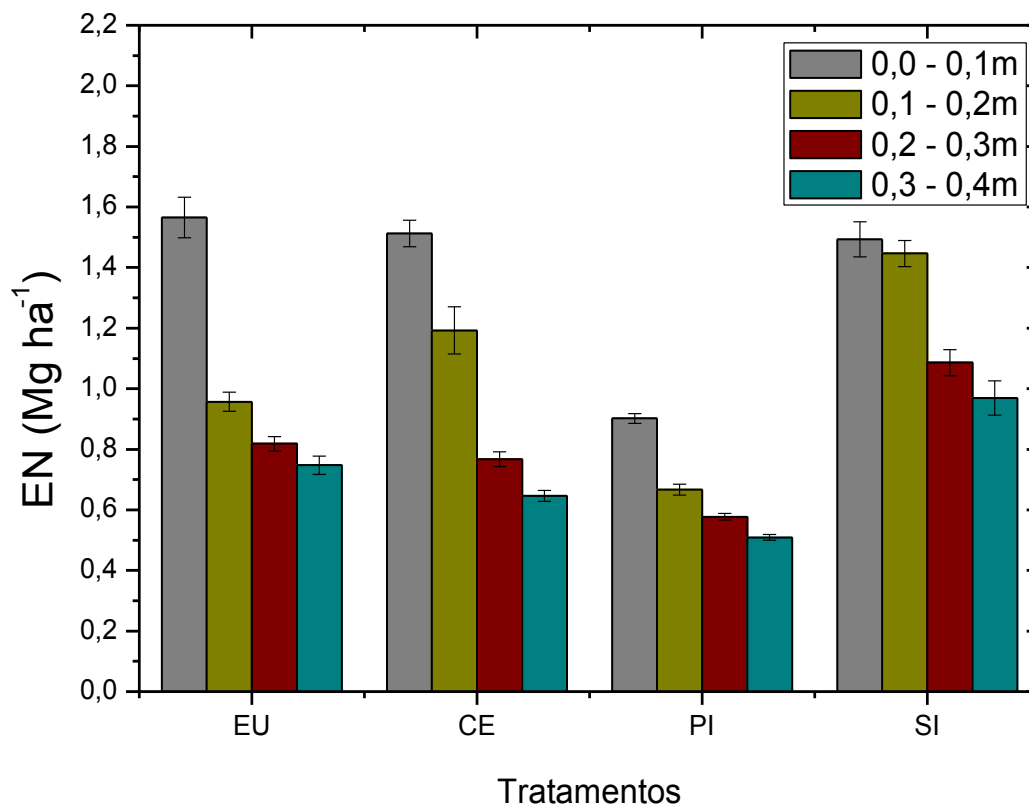
As ET no SI e PI foram as mais baixas, porém no SI os valores de EC foram elevados, em contraste ao PI que também apresentou baixas teores de EC. A baixa quantidade de EC no PI, pode ser explicado devido ao fato desta área ter apresentado altos teores de serapilheira sobre a superfície do solo, média de 10,28 Mg ha⁻¹, isto se deve ao potencial recalcitrante do pinus, que é formado por consideráveis teores de componentes fenólicos (MANNINEM et al., 2002) e lignina nas acículas. A lignina interfere na velocidade de degradação do carbono (GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Em trabalhos conduzidos por Chaves e Corrêa (2005), eles também observaram que Florestas de Pinus tem a capacidade de produzir altas quantidades de serapilheira, mas que os teores de matéria orgânica são mais baixos, quando comparados com áreas de vegetação nativa (LEPSCH, 1980; LILIENFEIN et al., 2000; NEUFELDT et al., 2002). Resultados opostos foram encontrados por Wilcke; Lilienfein (2004) que constataram o restabelecimento do teor de C na camada (0–0,3 m) após 20 anos do cultivo de *Pinus caribaea* em solos argilosos, anteriormente sob vegetação nativa de Cerrado, em Uberlândia –MG.

O SI teve comportamento contrário ao observado na CE e EU, pois apesar de ter sido observado altos teores de EC, as taxas médias de emissão de CO₂ foram baixas, comportamento este que pode ser explicado por resultados elevados de H+Al (90,67 mmol_c dm⁻³) no solo e o baixo pH (4,0), demonstrando assim, o efeito tóxico de altas quantidades de hidrogênio e alumínio no solo, podendo afetar tanto a quantidade de microrganismos, como também a diversidade destes, portanto, a diversidade e atividade dos microrganismos pode ter tido interferência negativa em razão dessas condições químicas do solo constatadas nesse manejo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Esse aparente comportamento contraditório da emissão de CO₂ e do estoque de carbono no SI ocorre porque a variável emissão de CO₂ não é capaz de explicar o EC isoladamente, por estar diretamente relacionada com fatores químicos, físicos e biológicos do solo (SOUZA et al., 2008; XAVIER, 2015).

O estoques de N foram influenciados significativamente pelos sistemas de manejo (CE, EU, PI e SI) (Figura 11) tendo observado interação significativa (sigF = 0.05%) para áreas e profundidades. Na profundidade de 0,0 – 0,1m os manejos EU, SI e CE não diferiram significativamente, apresentando as maiores médias (1,02 Mg ha⁻¹), ao passo que, o PI as menores EN (1,00 e 0,99 Mg ha⁻¹, respectivamente).

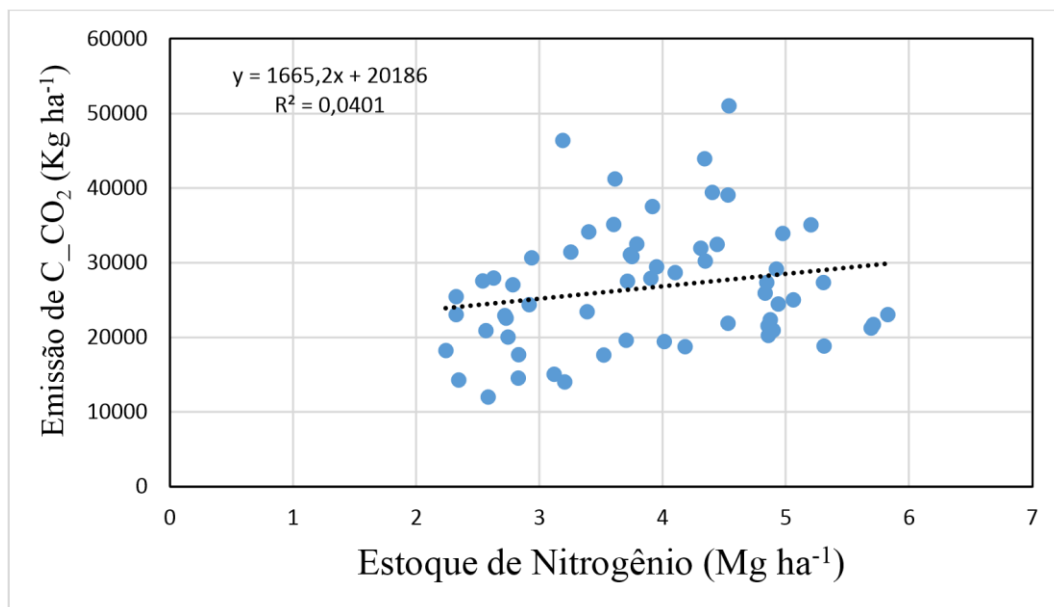
Figura 19- Estoque de Nitrogênio do Solo (Mg ha^{-1}) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



Fonte: próprio autor.

Nas demais profundidades, em comparação entre sistemas, o SI apresentou os maiores valores de EN, de modo contrário, o PI as menores, em comparação aos demais manejos, ao mesmo tempo que as áreas de EU e CE oscilaram de posição entre segundo, terceiro e quarta posição. Os resultados de EN encontrados demonstraram a capacidade do SI em acumular nitrogênio superior aos demais manejos em todas as profundidades analisadas, isso deve-se à maior produção de biomassa vegetal no SI por apresentar a integração de duas culturas em uma mesma área, além do fato que o EN é associado ao compartimento da MOS (BAYER et al., 2000a; LOVATO et al., 2004), desse modo, o maior acúmulo de MOS permite também uma maior taxa de EN nestes solos. Nesse sentido, a Figura 12 apresenta as análises de regressão linear entre o EN e emissão de C_CO_2 que podem ser observadas no gráfico. Portanto, pode ser observada a tendência do aumento da emissão de C_CO_2 à medida que se aumenta o EN.

Figura 20- Gráfico da regressão linear para o Estoque de Nitrogênio do Solo (Mg ha^{-1}) e Emissão de C_CO_2 (Kg ha^{-1}) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.

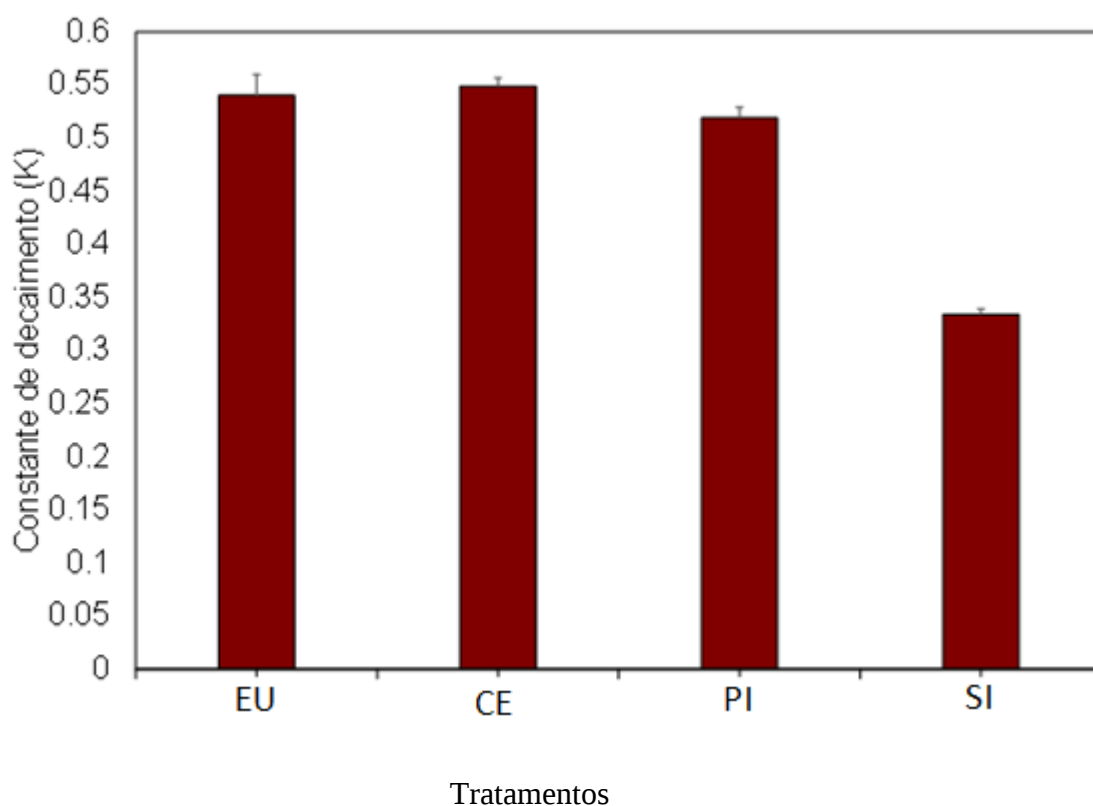


Fonte: próprio autor.

4.3 CONSTANTE DE DECAIMENTO DO CARBONO (k)

Na figura 21 é apresentado um gráfico de barras onde são mostrados os valores da constante de decaimento do carbono (k) nos manejos EU, CE, PI e SI, bem como as barras de desvio onde foram consideradas todas as repetições de cada manejo.

Figura 21- Constante de decaimento do carbon (k) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



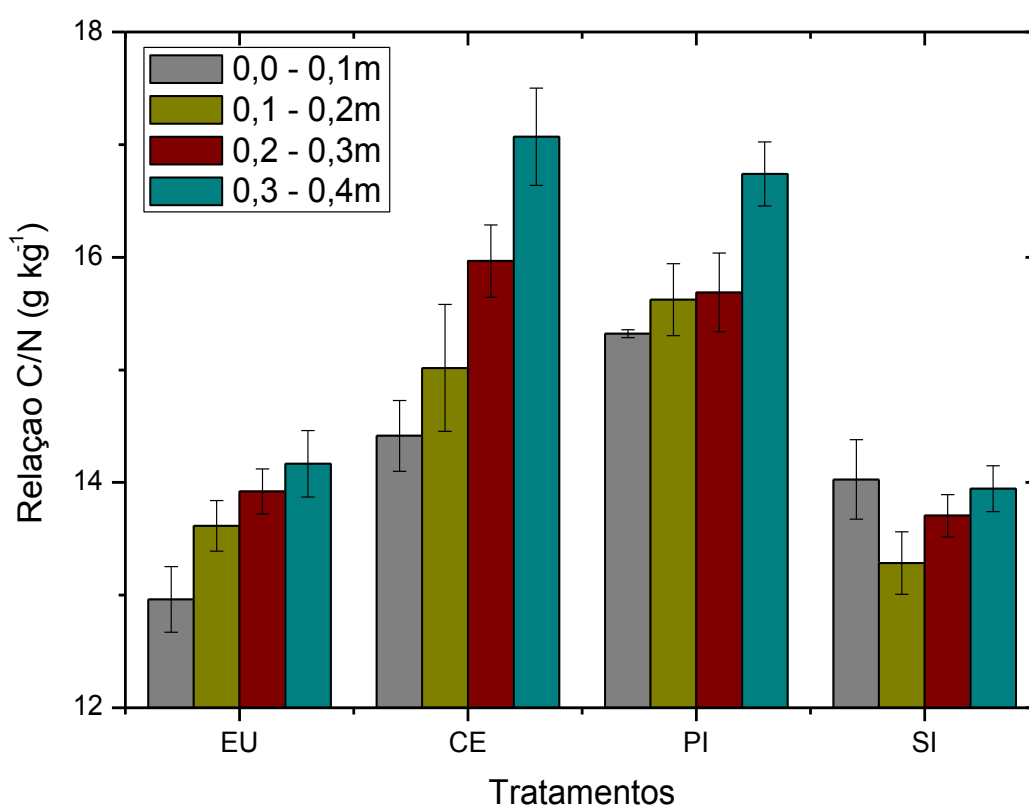
Fonte: próprio autor.

As áreas de CE, EU e PI apresentaram as maiores médias de k ($0,55 \text{ d}^{-1}$; $0,54 \text{ d}^{-1}$ e $0,53 \text{ d}^{-1}$), enquanto que o SI a menor taxa ($0,33 \text{ d}^{-1}$) (Figura 13). Os valores observados dos manejos na constante k indicam que o carbono do solo sob CE, EU e PI foi decomposto mais rapidamente quando comparados com o SI. Os valores da constante k indicam que no solo do CE, EU e PI o carbono foi decomposto mais rapidamente quando comparado com o SI, ou seja, o tempo de permanência do carbono lábil neste sistema foi menor. Portanto, em termos conservacionistas, os maiores valores médios de k , além de menor valor médio de emissão de CO_2 no solo sob manejo SI quando comparado aos outros manejos (CE, EU e PI) permitem inferir que o manejo SI é um ecossistema equilibrado, que apresenta grande potencial tanto para estabilizar o carbono no solo, quanto para reduzir a contribuição da agricultura na emissão de gases do efeito estufa, principalmente o CO_2 . Tebrugge; During (1999) em seus estudos já propunham o uso do sistemas conservacionistas como meio de diminuir as emissões de CO_2 , devido ao maior acúmulo de carbono no solo comparado com outros sistemas.

4.4 RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO E RELAÇÃO C/N

Na figura 22 é apresentado um gráfico de barras onde são mostrados os valores de relação C/N do solo nos manejos EU, CE, PI e SI em cada profundidade amostrada, bem como as barras de desvio onde foram consideradas as repetições de cada manejo.

Figura 22- Relação C/N (g kg^{-1}) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



Fonte: próprio autor.

Houve interação significativa entre profundidades e áreas. O PI obteve a maior taxa de relação C/N (15,32) para as camadas 0,0-0,1m e 0,1-0,2m, em virtude ao alto teor de lignina e compostos fenólicos em suas acículas o que promove a retardo da degradação, conferindo assim uma maior estabilidade do material, e interferindo diretamente na ação do microrganismo (CARVALHO et al., 2008). Contudo, nas profundidades de 0,2-0,3m e 0,3-0,4m o CE juntamente com o PI mostraram valores semelhantes de relação C/N. Esse resultado observado para o CE

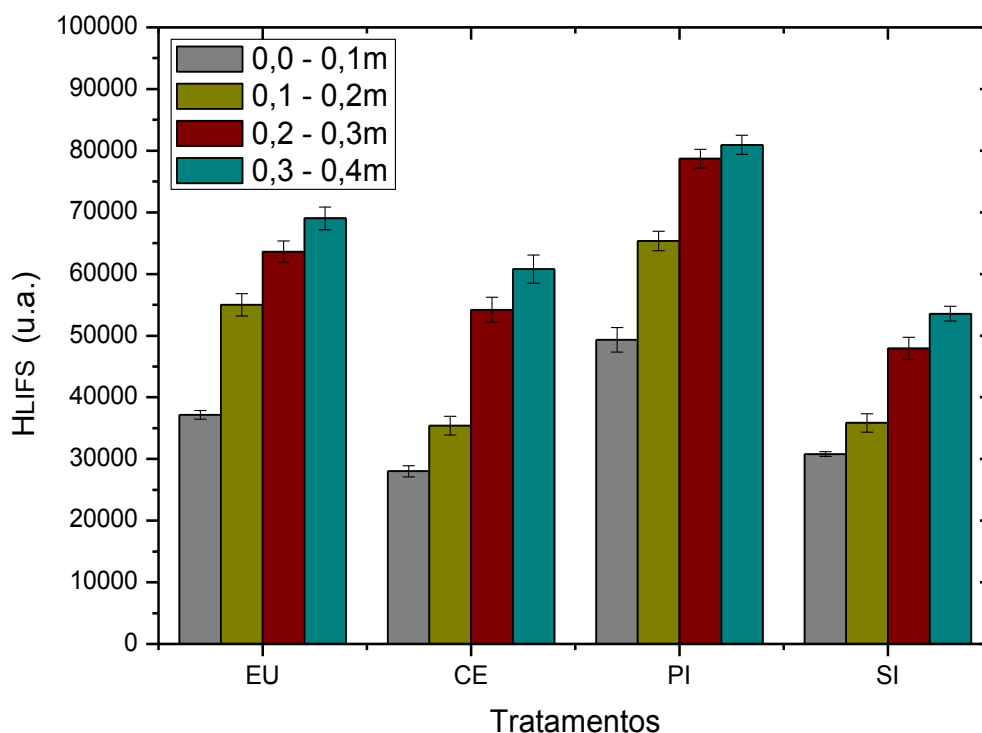
deve-se, principalmente, à ação do sistema radicular profunda e altos teores de compostos recalcitrantes na raiz. Materiais como lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis proporcionam maior durabilidade do material vegetal no solo e dificultam à ação da decomposição (HERMAN et al., 1977). Os altos valores de relação C/N e baixos de FCO_2 (Figura 22) vem de encontro com o que Moitinho (2013) observou, que o FCO_2 e a relação C/N são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento na taxa de um atributo provoca o decréscimo do outro. Entretanto, a CE mesmo com os altos valores de relação C/N nas camadas 0,2-0,3m e 0,3-0,4m apontou também grandes taxas de ET (Figura 8), em virtude da atividade microbiana do solo ser maior substancialmente na profundidade de 0-0,1 m (SILVA et al., 2010).

Vale ressaltar também que as relações C/N no SI não apresentaram um comportamento igual aos demais manejos, pois foi maior na camada de 0-0,1 m, enquanto que nas outras áreas essa profundidade mostrou o menor valor, comparado aos demais. Este resultado no SI pode ser explicado pela integração de duas culturas em um mesmo local e pela ação do sistema radicular fasciculado que apresenta a *Uroclora decumbens*.

4.5 RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO_2 DO SOLO E H_{LIFS}

Na figura 23 é apresentado um gráfico de barras onde são mostrados o H_{LIFS} para cada camada do solo amostrado, bem como as barras de desvio onde foram consideradas as repetições de cada manejo.

Figura 23- Grau de humificação da matéria orgânica (H_{LIFS}) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



Fonte: próprio autor.

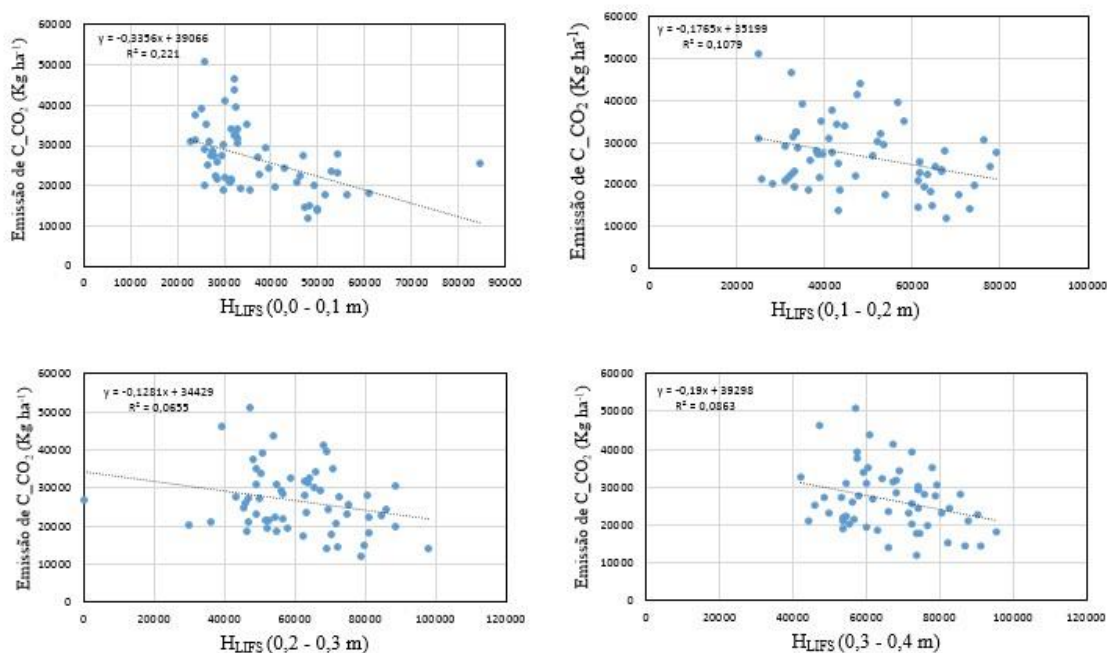
Em todas as profundidades, o maior índice de H_{LIFS} foi verificado no PI. No EU foi encontrados valor intermediário entre o manejo com maior H_{LIFS} (PI) e com os tratamentos com menores valores de H_{LIFS} (CE e SI). Esse resultado evidencia que o SI por integrar duas culturas em uma mesma área promove o acúmulo maior de material orgânico lábil, portanto, é menos humificado.

Em relação as profundidades, o H_{LIFS} foi maior a medida que se distanciou da superfície do solo. Também Favoretto (2008), Xavier (2015) e Milori et al. (2006) ao analisar o H_{LIFS} em diferentes profundidades de solo, observaram que os solos em superfície continham menor humificação quando comparados com camadas mais profundas. A diferença do H_{LIFS} entre as áreas evidencia como esse atributo é influenciado por sistemas de manejo. Além disso, vários estudos têm constatado uma relação íntima entre o MUT e grau de humificação da matéria orgânica, ou seja, quando as áreas foram convertidas de cerrado em sistemas agrícolas, como a agricultura convencional, houve um aumento no H_{LIFS} (DIECKOW et al., 2009). Favoretto et al. (2008) avaliando o H_{LIFS} em diferentes preparos de solo, em Ponta Grossa – PR, constataram diferenças entre os sistemas e entre profundidades, a primeira camada do solo apresentou menores H_{LIFS} ,

enquanto que no plantio direto foi encontrado menor H_{LIFS} quando comparado aos solos superficiais do preparo convencional e do preparo mínimo. Entretanto, existem poucos estudos avaliando o efeito dos sistemas de manejo no H_{LIFS} , principalmente em áreas sob condições climáticas tropicais.

As maiores taxas de H_{LIFS} constatados no PI coincidiram com os menores valores de ET. Portanto, aparentemente, a presença de materiais mais recalcitrantes como ocorre em florestas plantadas de pinus promovem um maior acúmulo de substâncias com H_{LIFS} elevados, e este por sua vez ocasionam menores taxas de ET. Esses resultados podem ser confirmados pelas análises de regressão linear entre o H_{LIFS} e emissão de C_{CO_2} , nas quatro camadas avaliadas, (Figura 24).

Figura 24- Gráfico da regressão linear para o Grau de humificação da matéria orgânica (H_{LIFS}) e Emissão de C_{CO_2} ($Kg\ ha^{-1}$) nos quatro manejos (CE, EU, PI e SI) avaliados no experimento.



Fonte: próprio autor.

Apesar das baixas relações observadas, houve uma tendência de diminuição da emissão de C_{CO_2} a medida que se aumentava o H_{LIFS} , isso foi ainda mais pronunciada nas primeiras camadas, que é onde ocorre a maior atividade microbiana do solo.

As baixas emissões encontradas no SI, possivelmente, ocorreram em função do significativo aporte de matéria orgânica fresca na superfície do solo, que a integração lavourapecuária propicia, visto que a serapilheira pode atuar como uma barreira física a difusão do gás do interior do solo (LA SCALA et al., 2006).

4.6 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Nas análises de correlação linear de Pearson foram estudados os atributos FO_2 , T_s e U_s e sua relação com a variável FCO_2 . Os resultados mostraram que para o EU a variável FCO_2 apresentou correlações positivas com a T_s ($r = 0,70$, $p < 0,05$) e U_s ($r=0,30$, $p < 0,05$), esta última considerada média, em uma escala que considera de 0,10 a 0,29 como fraca, de 30 a 50 como média e acima disso é interpretada como grandes correlações (COHEN, 1988). Esses valores de correlação encontrados entre a U_s e FCO_2 corroboram o que outros autores como Pinto Junior et al. (2009) observaram em florestas de transição entre Amazônica e Cerrado e em áreas de pastagens.

Na CE as relações entre T_s ($r=0,80$, $p < 0,05$) encontradas, são consideradas altas pelo método de classificação, enquanto que, para a U_s a correlação não foi significativa.

Em PI o FCO_2 correlacionou positivamente com T_s ($r= 0,57$, $p < 0,05$), U_s ($r= 0,62$, $p < 0,05$). No SI foram observadas altas correlações entre T_s ($r= 0,78$, $p < 0,05$) positiva e uma baixa correlação positiva para a U_s ($r= 0,24$, $p < 0,05$).

Embora o ar do solo tenha função de fornecer o substrato O_2 como aceptor de elétrons primário em condições aeróbicas (VAN DOVER, 2000; SMITH, 2002). As relações desse atributo com outras variáveis do solo como a porosidade total do solo (QUASTEL, 1965; HILLEL, 1998; BRADY; WEIL, 2013), macro e microporosidade (SIERRA et al., 1995; BRADY; WEIL, 2013), poros cheios de água (DILLY 2001; COOK et al. 2007; ELBERLING et al., 2011; BRADY; WEIL, 2013) e a sua alta concentração na atmosfera (em torno de 20%) interferam na sensibilidade da relação deste gás com a respiração do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Foram encontrados nesses estudos uma forte correlação entre o FCO_2 e a T_s ($>0,50$) para o EU, CE, PI e SI. Diversos autores, sob diversas condições de solo, também relatam a impor-

tância da temperatura na respiração do solo (REICH; SCHLESINGER,1992; LLOYD; TAYLOR, 1994; KÄTTERER et al.,1998; EPRON et al., 1999;). Reth et al. (2004) avaliando os efeitos da temperatura, umidade e pH no FCO_2 também observou um aumento exponencial das emissões à medida que aumentava-se a temperatura.

Os baixos valores de correlação encontrados nas áreas de EU, SI e a correlação não significativa entre o FCO_2 e a U_s na CE, possivelmente, ocorreram pelo efeito da T_s anular ou ocultar a ação deste outro fator, visto que essas são variáveis interdependentes e variam concomitantemente (DING et al., 2010).

5 CONCLUSÕES

1. A Umidade e a Temperatura do solo são os fatores ambientais principais no entendimento do padrão temporal de emissão de CO_2 em sistemas de produção.
2. A utilização da captura de O_2 para avaliar o comportamento do metabolismo no solo não demonstrou ser um atributo recomendável, possivelmente, devido à sua alta relação com os demais atributos do solo e sua alta concentração na atmosfera.
3. Sistemas de manejo conservacionistas, como os silvipastoris, apresentam atributos do solo favoráveis à manutenção do carbono no solo, devido ao seu baixo FCO_2 , constituindo assim um sistema indicado para a captura e armazenamento de carbono, e, consequentemente, mitigação do efeito estufa adicional.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLAUTISTAS- ABRAF. **Statistical yearbook 2009**: base year. Brasília: ABRAF, 2008. p. 31.
- ABURJAILE, S. B.; SILVA, M. P.; BATISTA, E. A. F. S.; BARBOSA, L. P. J. L.; BARBOSA, F. H. F. Pesquisa e caracterização da diversidade microbiológica do solo, na região de São José do Buriti – MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (cerrado) por plantações de eucalipto. **Ciência Equatorial**, v. 1, n. 2, p. 1-18, 2011.
- ALMEIDA, R. F. CO₂ emission and O₂ uptake of soil under different systems. 2017. 69 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal, 2017.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Nairobi, v. 99, n. 1-3, p.15-27, 2003.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão o cerrado perde espaço**. Brasília: WWF - Fundo Mundial para a Natureza, 1995. p. 66.
- ALLETTO L.; COQUET Y.; BENOIT P.; HEDDADJ D.; BARRIUSO E. Tillage management effects on pesticide fate in soils: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, n. 2, p. 367–400, 2010.
- ANGERT, A. et al. Using O₂ to study the relationships between soil CO₂ efflux and soil respiration. **Biogeosciences Discussions**, v. 11, p. 12039-12068, 2014.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARMSTRONG, W.; DREW, M. C. Root growth and metabolism under oxygen deficiency. **Plant Roots: The Hidden Half**, New York, v. 3, p. 729-761, 2002.
- BACHA, C. J. C. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 55, n. 2, p. 5-24, 2008.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and tillage research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BECKERT, M. R.; SMITH, P.; LILLY, A.; CHAPMAN, S. J. Soil and tree biomass carbon sequestration potential of silvopastoral and woodland-pasture systems in North East Scotland. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 90, n. 3, p. 371-383, 2016.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; SIQUEIRA NETO, M.; METAY, A.; PER-RIN, A.; SCOPEL, E.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. C. Influence du semis direct avec couverture végétale sur la séquestration du carbone et l'érosion au Brésil. **Bulletin Du Réseau Érosion**, v. 23, p. 323-337, 2004.

BERRY, L. J.; NORRIS, J. R.; W. E. Studies of onion root respiration I. Velocity of oxygen consumption in different segments of root at different temperatures as a function of partial pressure of oxygen. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 3, p. 593-606, 1949.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.

BERNADINO, F. S. **Sistema silvipastoril com eucalipto: produtividade do sub-bosque e desempenho de novilhos sob fertilização nitrogenada e potássica**. 2007. 112 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BODDEY, R.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C. E.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; GIACOMINI, S. J.; URQUIAGA, S. C. S.; ALVES, B. J. R.; Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FONTANA, F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1635-1646, 2009.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 704.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste**: especialmente do Ceará. 4. ed. Natal: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1960. p. 315.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C.E; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARY, J. W.; HOLDER, C. A method for measuring oxygen and carbon dioxide in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 6, p. 1345-1347, 1982.

CARVALHO, A. M. X.; MARTINS, H. M.V.; FERREIRA, E. M.; PEREZ CORDERO, A. F.; BARROS, N. F. D.; DUTRA COSTA, M. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2709-2716, 2008.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGEL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p.342-349, 2009.

Carvalho, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2010.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 34, p. 997-1003, 1999.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; COSTA JUNIOR, C.; FEIGL, B. J.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p.102-116, fev. 2010.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. D. A.; RODRIGUES, G. A. D. A.; REIS, M. R. **Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais.** [S.l.: s.n.], 2017. p. 30-41.

CHAVES, M. C.; SANTOS, F. A.; MENEZES, A. M. S.; RAO, V. S. N. Experimental evaluation of *Myracrocuon urundeuva* bark extract for antidiarrheal activity. **Phytotherapy Activity**, v. 12, n. 8, p. 549-552, 1998.

CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo-Pinus caribaea Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 691-700, 2005.

CHEN, X.; DHUNGEL, J.; BHATTARAI, S. P.; TORABI, M.; PENDERGAST, L.; MIDMORE, D. J. Impact of oxygation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. **Journal of Plant Ecology**, v. 4, p. 236-248, 2010.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y. D. J. G.; GRIGGS, D. J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; JOHNSON, C. A. **Climate change 2001: the scientific basis.** Cambridge; The Press Syndicate of the University of Cambridge, 2001.

COOK, F. J. One-dimensional oxygen diffusion into soil with exponential respiration: analytical and numerical solutions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 78, n. 3, p. 277-283, 1995.

COOK, F. J.; KNIGHT, J. H. Oxygen transport to plant roots: modeling for physical understanding of soil aeration. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 1, p. 20, 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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1 p. 323-332, 2008.

CURRIE, J. A. Diffusion within soil microstructure a structural parameter for soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 279-289, 1965.

CUNNINGHAM, S. C.; MAC NALLY, R.; BAKER, P. J.; CAVAGNARO, T. R.; BERINGER, J.; THOMSON, J. R.; THOMPSON, R. M. Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, n. 4, p.301-317, 2015.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DALIAS, P.; ANDERSON, J.M.; BOTTLNER, P.; COUTEAUX, M.M. Long-term effects of temperature on carbon mineralization processes. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 33, p. 1049– 1057, 2001.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, Oxford, v. 4, n. 2, p. 217–227.1998.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; PRADO WILDNER, L., NESI, C. N., SORDI, A., KOLLING, D. F.; CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó – SC. **Ciência Florestal**, Chapecó, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.

DIAS FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. Oxford: Oxford University Press, 2001. p. 84-105

DILLY, O. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soils and litter. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 33, n. 1, p. 117-127, 2001.

DILLY, O. Regulation of the respiratory quotient of soil microbiota by availability of nutrients. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 375-381, 2003.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 87-95, 2005.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D. B. M.; HERNANI, L. C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 81, n. 2, p. 87-95, 2005.

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. 81, n. 3-4, p. 87-95, 2005.

DOLAN, M. S.; CLAPP, C. E.; ALLMARAS, R. R.; BAKER, J. M.; MOLINA, J. A. E. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soils as related to tillage, residue and nitrogen management. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, n. 2, p. 221-231, 2006.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks: a meta-analysis. **Global Change Biology**, Malden, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, 2011.

DUIKER, S. W.; LAL, R. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 87-95, 2005.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, Bronx, v. 81, p. 87-95, 2005.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 19967. p. 212.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. p. 230.

EPRON D.; FARQUE L.; LUCOT E.; BADOT, P. M. Soil CO₂ efflux in a beech forest: Dependence on soil temperature and soil water content. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 56, n. 3, p. 221-226, 1999.

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**, Cambridge, v. 22, n. 5, p. 565-574, 2006.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 202, n. 1, p. 149-160, 2004.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M., ROSA, J. A.; LEITE, W. C.;

BRINATTI, A. M.; SAAB, S. D. C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um latossolo e de suas frações organo-minerais. **Embrapa Instrumentação**, São Carlos, v. 31, n. 8, p. 1994-1996, 2008.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. van. (Ed). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FERREIRA, E. C.; FERREIRA, E. J.; VILLAS-BOAS, P. R.; SENESI, G. S.; CARVALHO, C. M.; ROMANO, R. A.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D. M. B. Novel estimation of the humification degree of soil organic matter by laser-induced breakdown spectroscopy. **Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy, Oxford**, v. 99, p. 76-81, 2014.

FRANCO, A. L. C.; CHERUBIN, M. R.; PAVINATO, P. S.; CERRI, C. E.; SIX, J.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 515-516, p. 30-38, 2015.

FUENTES, M.; HIDALGO, C.; ETCHEVERS, J.; LEÓN, F.; GUERRERO, A., DENDOOVEN, L.; GOVAERTS, B. Conservation agriculture, increased organic carbon in the top-soil macro-aggregates and reduced soil CO₂ emissions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 355, n. 1-2, p. 183-197, 2011.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 8, n. 1-2, p. 223-241, 1999.

FURLANI, C. E.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; SILVA, R. P. D.; CORTEZ, J. W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. v. 32, n. 1, p. 375-380, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 393-901, 2005.

GATTO, A.; BARROS, N. F. D.; FERREIRA NOVAIS, R.; RIBEIRO DA SILVA, I.; GARCIA LEITE, H.; PALHA LEITE, F.; ALBUQUERQUE VILLANI, E. M. D. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 1069-1079, 2010.

GALFORD, G. L.; SOARES FILHO, B.; CERRI, C. E. Prospects for land-use sustainability on the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 368, n. 1619, p. 20120171, 2013.

- GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, número do evento, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Local de Edição, 1977. p. 281-302.
- GARTEN, C. T.; CLASSEN, A. T.; NORBY, R. J. Soil moisture surpasses elevated CO₂ and temperature as a control on soil carbon dynamics in a multi-factor climate change experiment. **Plant & Soil**, The Hauge, v. 319, n. 1-2, p. 85-94, 2009.
- GIACOMO, G.; ANGELO, F.; FABIO, B.; STEFANO, B.; RICCARDO, M. Measurements of soil carbon dioxide emissions from two maize agroecosystems at harvest under different tillage conditions. **The Scientific World Journal**, p. 1-12, 2014.
- GRAF, A.; HERBST, M.; WEIHERMÜLLER, L.; HUISMAN, J. A.; PROLINGHEUER, N.; BORNEMANN, L.; VEREECKEN, H. Analyzing spatiotemporal variability of heterotrophic soil respiration at the field scale using orthogonal functions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 181, p. 91-101, 2012.
- GRAAE, B. J.; OAKLAND, R. H. Influence of historical, geographical and environmental variables on understory composition and richness in Danish forest. **Journal of Vegetation Science**, New York, v. 15, n. 4, p. 465-474, 2004.
- GUTMANIS, D. **Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris**. 2004. Tese (Doutorado)– Instituto de Biociências, Universidade Estadual de São Paulo Julio de Mesquita Filho- UNESP, Rio Claro, 2004.
- HASHIMOTO, S.; TANAKA, N.; SUZUKI, M.; INOUE, A.; TAKIZAWA, H.; KOSAKA, I.; TANGTHAM, N. Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. **Journal of Forest Research**, Sapporo, v. 9, n. 1, p. 75-79, 2004.
- HERMAN, W. A.; MCGILL, W. B.; DORMAAR, J. F. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 57, n. 2, p. 205-215, 1977.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998. p. 757.
- HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, v. 65, n. 3-4, p. 69-78, 1991.

HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHARDT, K. Spatio-temporal variability behavior of land surface soil water content in shrub- and grass-land. **Geoderma**, Amsterdam, v. 162, n. 3–4, p. 260–272, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Ibá**. Brasília: [s.n.], 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change impacts, adaptation and vulnerability**: regional aspects. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. v. 1.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **Climate change**: the physical science basis: working group I contribution to the fifth assessment report of the inter-governmental panel on climate change. Geneva: [s.n.], 2013.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA J. 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, n. 5, p. 497-504, 2015.

JASSAL R. S.; BLACKA T. A.; NESIC Z.; GAUMONT-GUAY D. Using automated nonsteady-state chamber systems for making continuous long-term measurements of soil CO₂ efflux in forest ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 161, p. 57– 65, 2012.

JACKSON, R. B.; JOBBÁGY, E. G.; AVISSAR, R.; ROY, S. B.; BARRETT, D. J.; COOK, C. W.; MURRAY, B. C. Trading water for carbono with biological sequestration. **Science**, v. 310, n. 5756, p. 1944-1947, 2005.

JONG VAN LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 233-238, 2001.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 328.

KANG, S.; DOH, S.; LEE, D.; LEE, D.; JIN, V. L.; KIMBALL, J. S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, n. 10, p. 1427-1437, 2003.

KÄTTERER T.; REICHSTEIN M.; ANDREN O.; LOMANDER A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 3, p. 258–262, 1998.

- KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E.; BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, Berlin, v. 104, n. 4, p. 397-408, 1995.
- KIRKEGAARD J. A.; CONYERS M. K.; HUNT J. R.; KIRKBY C. A.; WATT M.; REBETZKE G. J. Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 187, p. 133–145, 2014.
- KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.
- KONOVA, M. M. **Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and soil fertility**. Oxford: Pergamon, 1996. p. 124-151.
- KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; TANAKA, H.; OHKUBO, S.; TANI, M.; YANO, M.; KATAYAMA, T. Evapotranspiration over a japanese cypress forest. I. Eddy covariance fluxes and surface conductance characteristics for 3 years. **Journal of Hydrology**, Amisterdan, v. 337, n. 3, p. 269-283, 2007.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amisterdan, v. 123, n. 1-2, p. 122, 2004.
- LAMPARTER, A.; BACHMANN, J.; GOEBEL, M. O.; WOCHE, S. K. Carbon mineralization in soil: Impact of wetting–drying, aggregation and water repellency. **Geoderma**, Amisterdan, v. 150, n. 3, p. 324-333, 2009.
- LA SCALA, N.; PANOSSO, A.R.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial e temporal da emissão de CO₂ num latossolo desprovido de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, p. 88-95, 2003
- LA SCALA, N.; LOPES, A.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amisterdan, v. 62, n. 3, p. 163-166, 2001.

- LA SCALA, 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 and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 244-248, 2006.
- LA SCALA JUNIOR, N.; FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2012.
- LAGANIERE, J.; ANGERS, D. A.; PARE, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 439-453, 2010.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 4. ed. Berlin: Springer- Verlag, 2003.
- LEITE, E. J. State-of-knowledge on myracrodruon urundeuva Fr. Allemão (Anacardiaceae) for genetic conservation in Brazil. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 5, n. 3, p. 193-206, 2002.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27 p. 821-832, 2003.
- LEON, E.; VARGAS, R.; BULLOCK, S.; LOPEZ, E.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Hot spots, hot moments, and spatio-temporal controls on soil CO₂ efflux in a water-limited ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 77, p. 12-21, 2014.
- LEPSCH, I F. Influência do cultivo de Eucalyptus e Pinus nas propriedades químicas do solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 103-107, 1980.
- LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 456, 2011.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; CARMO LIMA, S.; ZECH, W. Soil acidification in Pinus caribaea forests on Brazilian savanna Oxisols. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 145-157, 2000.
- LLOYD J.; TAYLOR J. A. On the temperature dependence of soil respiration. **Functional Ecology**, Oxford, v. 8, p. 315-323, 1994.

LOPES, A. S. Soils under Cerrado: a success story in soil management. **Better Crops International**, Atlanta, v. 10, n. 2, p. 9–15, 1996.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil Respiration**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 92.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n. 2, p. 177–184, 2010.

MARTIN NETO, L.; R. ROSELL; G. SPOSITO. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperature grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, n. 3-4, p. 305–311, 1998.

MARCHÃO, L. R.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROS-SARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 442–450, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 319.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Piracicaba: Agronomica Ceres, 2006. p. 638.

MANNINEN, A. M.; PASANEN, P.; HOLOPAINEN, J. K. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1763-1768, 2002.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas características de madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. p. 49.

MATHEUS, M. T. Sequestro de carbono sob a óptica florestal no Brasil. **Revista Trópic - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n.3, p. 104-116. 2012.

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

MEIXNER, F. X.; YANG, W. X. Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. In: D'ODORICO, P.; PORPORATO, A. (Ed.). **Dryland ecohydrology**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 233–255.

MICHEL, K.; MARITXU, G.; RENÉ, B. J.; REVEL, J. C. Influencia de las sustancias húmicas sobre las características bio-físico-químicas de los suelos: consecuencias sobre la nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia. **Conferencias...** Águas de Lindóia: [s.n.], 1996. v. 13.

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Águas de Lindóia, v. 70, n. 1, p. 5763, 2006.

MILORI, D. M. B. P.; BAYER, V. S.; BAGNATO, J.; MIELNICZUK, L.; MARTIN-NETO, L. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil and Science**, v. 167, n. 11, p. 739–749, 2002.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; FERRAUDO, A. S.; LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*saccharum* spp.) production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, p. 127-132, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.

MORELL, F. J.; ÁLVARO-FUENTES, J.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Effects of tillage systems and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 139, n. 1–2, p. 167–173, 2010.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; LINS NETO, E. M. F.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. Use patterns and knowledge of medicinal species among two rural communities in Brazil's semi-arid northeastern region. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 105, n. 1-2, p. 173-186, 2006.

MONTEIRO, J. M.; ARAÚJO, E. D. L.; AMORIM, E. L. C.; ALBUQUERQUE, U. P. D. Valuation of the Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão): perspectives on conservation. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 26, n. 1, p. 125-132, 2012.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; QUEIROZ, C. R. A. A. Studies on polyphenols and lignin of *Astronium urundeuva* wood. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 10, n. 6, p. 447452, 1999.

MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M. **Resumos Embrapa**: CPAO/Flora Sul. Dourados: Lugar de Publicação, 1997. p. 9.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V.; AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, n. 3, p. 151-164, 2002.

OGLE, S. M.; PAUSTIAN, K. Soil organic carbon as an indicator of environmental quality at the national scale: monitoring methods and policy relevance. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 85, n. special issue, p. 531-540, 2005.

OKUMURA, M. H.; PASSOS, A.; NADER, B.; DE TOMI, G. Improving the monitoring, control and analysis of the carbon accumulation capacity in Legal Reserves of the Amazon forest. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 104, n. 3, p. 109-120, 2015.

OLIVEIRA, D. M. S.; SCHELLEKENS, J.; CERRI, C. E. P. Molecular characterization of soil organic matter from native vegetation-pasture-sugarcane transitions in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 548-549, p. 450-462. 2016.

PANOSSO, A. R. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂ e sua relação com propriedades do solo em área de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal, 2011.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 8, p. 227-236, 2008.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, 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 and Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, 190-196, 2011.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275-282, 2009.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. D. S.; BERTOLA CANTARUTTI, R.; PEREIRA DE SOUZA, A. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.1119-1129, 2007.

PELA, S. K. **Florestamento e reflorestamento no Brasil: uma análise do projeto Floram**. 2010. 182 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo- USP, São Paulo, 2010.

PILLON, C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. Tese (Doutorado)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PINTO JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem Soil efflux CO₂ in mature transitional tropical forest Amazonia and pasture area. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 813-821, 2009.

PULROLNIK, K.; DE BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Carbon and nitrogen pools in soil organic matter under eucalypt, pasture and savanna vegetation in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.

QUEIROZ, C. R. A. A.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 485-492, 2002.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas; Fundação Cargill, 1987. p. 170.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 285.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

REICOSKY, D. C. Tillage-induced CO₂ emission from soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, n. 1-3, p. 273-285, 1997.

RETH, S.; REICHSTEIN, M.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux—A modified model. **Plant and Soil**, Holanda, v. 268, n. 1, p. 21-33, 2005.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**: manual de dendrologia brasileira. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. p. 296.

ROCHA, J. C.; SARGENTINI JUNIOR, E.; ZARA, L. F.; ROSA, A. H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the mercury cycle in Brazil. **Talanta**, London, v. 53, n. 3, p. 551-559, 2000.

RODEGHIERO M.; HEINEMEYER A.; SCHRUMPF M.; BELLAMY P. **Determination of changes in soil carbon stocks. in soil carbon dynamics**: in integrated methodology. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009. p. 49-75.

RODRIGUES, R. C.; ARAUJO, R. A.; COSTA, C. S.; LIMA, A. J. T.; OLIVEIRA, M. E.; CUTRIM, J. A. A.; SANTOS, F. N. S.; ARAUJO, J. S.; SANTOS, V. M.; ARAUJO, A. S. F. Soil microbial biomass in an agroforestry system of Northeast Brazil. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 3, n. 1, p. 41-48, 2015.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; LAL R.; DICK W. A.; PICCOLO M. C.; FEIGL B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 56-64, 2009.

- SAIZ, G.; GREEN, C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R.; AVITABILE, V.; FARREL, E.P. Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands. **Plant Soil**, v. 287, n.1–2, p. 161–176, 2006.
- SANO, E. E., ROSA, R., BRITO, J. L. S., FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 166, n. 1–4, p. 113– 124, 2010.
- SANTOS, E. **Nossas madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987. p. 316.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p. 353.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.
- SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F.; COLETTI, V.; SOARES, A. B. Efeito de diferentes densidades arbóreas nas variáveis microclimáticas em um sistema silvipastoril. In; 1 SEMINÁRIO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA-CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ANIMAIS E FLORESTAIS, 2007, Dois Vizinhos, 2007. p. 86-88.
- SCHNITZER, M.; KHAN, S. U. **Humic substances in the environment**. New York: Marcel Dekker, 1972. p. 1-55.
- SCHINDLBACHER, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 109, n. 17, p. 1–12, 2004.
- SEGNINI, A.; CARVALHO, J. L. N.; BOLONHEZI, D.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L.; SIMÕES, M. L.; CANTARELLA, H.; MARIA, I. C.; MARTIN NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane straw and soil management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 321-326. 2013
- SEGNINI, A. **Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo**. 131 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2015.
- SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, v. 60, n. 2, p.123-130, 2004.

SILVA, R. R.; NAVES S. M. L.; CARDOSO, E. L.; SOUZA M., F. M. D.; CURI, N.; MAYUMI T. A. A. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, V. M.; RABELO T. A. F.; SOUZA, J. L.; PINTO G.; G., BENASSI, A. C.; SÁ M. E. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1436-1444, 2015.

SIMON, M. F.; GREYER, R.; DE QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Allahabad, v. 106, p. 20359–20364, 2009.

SMITH, C. Chemosynthesis in the deep-sea: life without the sun. **Biogeosciences Discuss**, n. 9, p. 17037-17052, 2002.

SMITH, P.; JANZEN, H.; MARTINO, D.; ZUCONG, Z.; KUMAR, P.; MCCARL, B.A.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTKENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; GENXING, P.; ROMANEKOV, V.; SCHNEIDER, U.A.; TOWPRA-YOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 363, p. 789-813, 2008.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, 2014.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. D. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPASPI, 1994. p. 142.

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, n. 4, p. 779-791, 2003.

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

SOUZA, F. D. C.; BAYER, C.; ACORDI, J. Z.; 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, n. 1, p. 323-311, 2008.

SØE, A. R.; BUCHMANN, N. Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. **Tree physiology**, Oxford, v. 25, n. 11, p. 1427-1436, 2005.

SOUZA, Z. M. D.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-140, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. p. 496,.

TANG, X.; LIU, S.; ZHOU, G.; ZHANG, D.; ZHOU, C. Soil-atmospheric exchange of CO₂, CH₄, and N₂O in three subtropical forest ecosystems in southern China. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, n. 3, p. 546-560, 2006.

TEBRUGGE, F.; DURING, R. A. Reducing tillage intensity a review of results from a long-term study in Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 15–28, 1999.

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, n. 1, p. 39-47. 2009.

VAN STRAATEN, O.; VELDKAMP, E.; KÖHLER, M.; ANAS, I. Spatial and temporal effects of drought on soil CO₂ efflux in a cacao agroforestry system in Sulawesi, Indonesia. **Biogeosciences**, Hoboken, v. 7, p. 1223-1235, 2010.

VIANA, G. S. B.; BANDEIRA, M. A. M.; MOURA, L. C.; SOUZA-FILHO, M. V. P.; MATOS, F. J. A.; RIBEIRO R. A. Analgesic and antiinflammatory effects of the tannin fraction from *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Phytotherapy Research**, London, v. 11n. 2, p.118-12, 2003.

XAVIER, A. A. P. **Avaliação do acúmulo e emissão de carbono do solo sob sistemas produtivos de pastagem**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado)– Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos. 2015.

WANG, J.; LIU, Q. Q.; CHEN, R. R.; LIU, W. Z.; SAINJU, U. M. Soil carbon dioxide emissions in response to precipitation frequency in the Loess Plateau, China. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 96, p. 288–295, 2015.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Sapatial variability of soil physical properties in the field. In: HilleL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic, 1980. p. 319-344.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 3, p. 827-832. 2004.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION- WMO. **World data centre for greenhouse gases**. Japan: Meteorological Agency, 2016. (Data summary: greenhouse gases and other atmospheric gases, 39).

WOOD, S. A. The role of humic substances in the transport and fixation of metals of economic interest (Au, Pt, Pd, U, V). **Ore Geology Reviews**, Amsterdam, v. 11, n.1-3, p. 1-31, 1996.

ZHOU, Z.; ZHANG, Z.; ZHA, T.; LUO, Z.; ZHENG, J.; SUN, O. J. Predicting soil respiration using carbon stock in roots, litter and soil organic matter in forests of Loess Plateau in China. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, n. 4, p. 135-143, 2013.