



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

CHRISTTIANE FERNANDES OLIVEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO
DO SOLO EM ÁREAS DE EUCALIPTO E SISTEMA SILVIPASTORIL**

Ilha Solteira
2018

CHRISTTIANE FERNANDES OLIVEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO
DO SOLO EM ÁREAS DE EUCALIPTO E SISTEMA SILVIPASTORIL**

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

Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso
Orientador

Prof. Dr. Rafael Montanari
Coorientador

Ilha Solteira
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Oliveira, Christiane Fernandes.
O482v Variabilidade espacial da emissão de co2 e estoque de carbono do solo em áreas de eucalipto e sistema silvipastoril / Christiane Fernandes Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
63 f. : il.

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

Orientador: Alan Rodrigo Panosso

Co-orientador: Rafael Montanari

Inclui bibliografia

1. Respiração do solo. 2. Efeito estufa. 3. Krigagem ordinária. 4. Eucalyptus camaldulensis. 5. Grau de humificação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM ÁREAS DE EUCALIPTO E SISTEMA SILVIPASTORIL

AUTORA: CHRISTTIANE FERNANDES OLIVEIRA

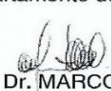
ORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

COORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra 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. GENER TADEU PEREIRA
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

Ilha Solteira, 14 de maio de 2018

DEDICO

Aos meus pais, **Maria Terezinha Borges Fernandes** e **Ignácio da Silva Oliveira**, pelo amor incondicional, carinho,
Dedicação, pelos ensinamentos e todo apoio para conclusão desse mestrado.

A minha avó materna, **Messias Borges Fernandes** “in memoriam”, pelo amor, e por ser uma inspiração em minha vida.

AMO VOCÊS

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, fonte infinita de esperança, fé e consolação, mas especialmente por iluminar o meu caminhar com a chama da amizade e bondade dos amigos que me ajudaram nesta jornada.

Aos meus pais, por toda dedicação, carinho e incentivo, obrigada por todo o amor, vocês são os melhores pais que eu poderia ter!

Ao meu orientador Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso pela paciência e segura orientação, pelos incentivos e valiosos ensinamentos ao longo deste período, por me ajudar a desenvolver esse projeto e especialmente, pela sua amizade.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Rafael Montanari pela confiança, amizade, apoio dedicado e por sua disposição para ajudar desde minha entrada na pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes pelo apoio e por ter cedido às áreas para a condução das avaliações.

À pesquisadora Dr. Debora Marcondes Bastos Pereira, pelos ensinamentos e pela disponibilização dos equipamentos para as análises do grau de humificação presente nesse estudo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Ilha Solteira, pela estrutura física e oportunidade de realização deste trabalho.

A todos os funcionários da UNESP, sendo em especial: Marcelo (técnico do laboratório de nutrição de plantas), Valdivino e Diego (ex-técnico e técnico do laboratório de física do solo), pela amizade e auxílio na realização de análises em seus respectivos laboratórios.

Às amigas que ganhei na graduação, Joyce, Lorena, Suany e Camila pela amizade e companheirismo. Obrigada pela ajuda e amizade.

Ao meu namorado Diego dos Santos Pereira, pela ajuda, Amor, companheirismo, por todo o apoio nessa minha caminhada. Você foi um presente na minha vida!

Aos amigos que a pós-graduação proporcionou-me: Jean Carlos, Tatiana Santos, Carla Pinotti, Maria Elisa Vicentini, Jaqueline Bonfim, Laís, Bruno Horschut e Fernando Pavani, pela amizade, ajuda e troca de conhecimentos para realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo nº. 2016/03861-5).

“É exatamente disso que a vida é feita, de momentos. Momentos que temos que passar, sendo bons ou ruins, para o nosso próprio aprendizado. Nunca esquecendo do mais importante: Nada nessa vida é por acaso. Absolutamente nada. Por isso, temos que nos preocupar em fazer a nossa parte, da melhor forma possível. A vida nem sempre segue a nossa vontade, mas ela é perfeita naquilo que tem que ser.”

(Chico Xavier)

RESUMO

Áreas convertidas para florestas plantadas e sistemas silvipastoris (SSPs), além de contribuírem para a sustentabilidade do sistema e promover maior biodiversidade, tem um papel importante na mitigação dos gases do efeito estufa (GEEs). Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO₂ (FCO₂) e do estoque de carbono do solo (EstC) em áreas com 30 anos de conversão de lavoura para o sistema silvipastoril (consórcio de aroeira e capim braquiária) e floresta plantada de eucalipto, no município de Selvíria-MS. Foram instaladas duas malhas amostrais, uma de 100 × 100 m contendo 102 pontos na área de eucalipto (EU) e outra com 86 pontos amostrais no sistema silvipastoril (SSP), possibilitando fazer uma estatística mais confiável em termos de variabilidade espacial. A emissão de CO₂ do solo foi determinada por meio do sistema LI-8100, juntamente à determinação de temperatura e umidade do solo. Os resultados indicaram que a área de EU obteve a maior média de FCO₂ (7,22 μmol m⁻² s⁻¹), maior valor de EstC (21,75 Mg ha⁻¹), e maior grau de humificação da matéria orgânica (H_{LIFS}), indicando um material mais recalcitrante, se comparada ao SSP. A análise variográfica indicou que o intervalo de dependência espacial do FCO₂ para SSP variou de 19,8 a 87,9 m, enquanto na EU os valores variaram de 22,3 a 60,9 m. O FCO₂ apresentou melhor correlação espacial com estoque de carbono do solo. Os mapas de FCO₂ mantiveram um padrão de variabilidade espacial ao longo do tempo para ambas as áreas avaliadas.

Palavras chave: Respiração do solo. Efeito estufa. Krigagem ordinária. *Eucalyptus camaldulensis*. Grau de humificação.

ABSTRACT

Areas converted to planted forests and silvopastoral systems (SSPs), besides contributing to the sustainability of the system and promoting greater biodiversity, play an important role in the mitigation of greenhouse gases (GHGs). Thus, the objective of the present work was to evaluate the spatial variability of CO₂ emission (FCO₂) and soil carbon stock (EstC) in areas with 30 years of conversion to the silvipastoral system (*Myracrodruon urundeuva*, consortium and brachiaria grass) and planted forest of eucalyptus, in the municipality of Selvíria-MS. Two sample meshes were installed, one of 100 × 100 m containing 102 points in the eucalyptus (EU) area and the other with 86 sampling points in the silvipastoral system (SSP), making it possible to make a statistic more reliable in terms of spatial variability. The CO₂ emission of the soil was determined by the LI-8100 system, together with the determination of soil temperature and humidity. The results indicate that the EU area obtained the highest average FCO₂ (7.22 μmol m⁻² s⁻¹), a higher value of EstC (21.75 Mg ha⁻¹), and a higher degree of humification of organic matter (H_{LIFS}), indicating a more recalcitrant material, when compared to SSP. The variographic analysis indicated that the spatial dependence range of FCO₂ for SSP ranged from 19.8 to 87.9 m, while in the EU the values ranged from 22.3 to 60.9 m. FCO₂ showed better spatial correlation with soil carbon stock. The FCO₂ maps maintained a spatial variability pattern over time for both areas evaluated.

Keywords: Soil respiration. Greenhouse. Ordinary kriging. *Eucalyptus camaldulensis*. Humification index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Variação da participação nas emissões de CO ₂ para cada setor, de 2005 para 2012.....	15
Figura 2	- Áreas de árvores plantadas no Brasil em 2016.....	19
Figura 3	- Localização geográfica das áreas avaliadas na FEPE (FEIS- UNESP)...	23
Figura 4	- Foto das áreas de estudo, localizada em Selvíria-MS.....	24
Figura 5	- Representação das malhas amostrais utilizada no experimento.....	25
Figura 6	- Colar de PVC; Sistema LI-8100 interligado à câmara de solos inserida sobre o colar de PVC; TDR - Hydrosense system, sistema portátil utilizado para avaliação da Umidade do Solo e Sensor de temperatura de haste	26
Figura 7	- Precipitação pluvial durante o período de avaliação do experimento na área de sistema silvipastoril e floresta plantada de eucalipto, localizada no município de Selvíria-MS.....	26
Figura 8	- Semivariogramas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias 03, 09 e 22 de fevereiro de 2017 na área de sistema silvipastoril.....	39
Figura 9	- Semivariogramas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias 03, 08 e 17 de março de 2017 na área de sistema silvipastoril.....	40
Figura 10	- Semivariogramas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias 03, 10 e 17 de junho de 2017 na área de sistema silvipastoril...	41
Figura 11	- Semivariogramas do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H _{LIFS}) no sistema silvipastoril.....	42
Figura 12	- Semivariogramas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias 17 de fevereiro e 15 de março de 2017 na área de eucalipto.....	44
Figura 13	- Semivariogramas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias nos dias 3, 10 e 17 de junho de 2017 na área de eucalipto.....	45
Figura 14	- Semivariogramas do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H _{LIFS}) na área de eucalipto.....	46
Figura 15	- Mapas do padrão espacial da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período chuvoso no ano de 2017 na área de sistema silvipastoril.....	47
Figura 16	- Mapas do padrão espacial da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período seco no ano de 2017 na área de sistema silvipastoril.....	48

Figura 17	- Mapa do padrão espacial do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H _{LIFS}) em 2017 na área de sistema silvipastoril.....	49
Figura 18	- Mapas do padrão espacial da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período chuvoso no ano de 2017 na área de eucalipto.....	50
Figura 19	- Mapas do padrão espacial da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período seco no ano de 2017 na área de eucalipto.....	50
Figura 20	- Mapas do padrão espacial do estoque de carbono e grau de humificação do solo em 2017 na área de eucalipto.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Análise descritiva para as emissões de CO ₂ , umidade e temperatura do solo nos dias estudados de fevereiro a junho na área de silvipastoril.....	32
Tabela 2	- Análise descritiva para as emissões de CO ₂ , umidade e temperatura do solo nos dias estudados de fevereiro a junho na área de eucalipto.....	33
Tabela 3	- Estatística descritiva para emissão de CO ₂ do solo (FCO ₂), temperatura do solo (Ts) e umidade do solo (Us), nos períodos da seca e da chuva nas áreas de silvipastoril e eucalipto no ano de 2017.....	34
Tabela 4	- Análise descritiva para as propriedades química e física do solo na profundidade de 0,00 – 0,10 m nas áreas de silvipastoril e eucalipto.....	36
Tabela 5	- Modelos e estimativas dos parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais para a emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹), temperatura (°C), umidade do solo (%), estoque de carbono (EstC) e grau de humificação (H _{LIFS}) para os dias analisados, em área de sistema silvipastoril no ano de 2017.....	38
Tabela 6	- Modelos e estimativas dos parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais para a emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹), temperatura (°C), umidade do solo (%), estoque de carbono (EstC) e grau de humificação (H _{LIFS}) para os dias analisados, em área de eucalipto no ano de 2017.....	43
Tabela 7	- Coeficientes de correlação espacial do FCO ₂ com a temperatura, umidade, EstC e H _{LIFS} do solo na profundidade de 0.00 – 0.10 m no sistema silvipastoril.....	48
Tabela 8	- Coeficientes de correlação espacial do FCO ₂ com a temperatura, umidade, EstC e H _{LIFS} do solo na profundidade de 0.00 – 0.10 m na área de eucalipto.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	O EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA.....	14
2.2	PROCESSO DE EMISSÃO DE CO ₂ DO SOLO.....	16
2.3	FLORESTAS PLANTADAS E O GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i>	18
2.4	SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (iLPF).....	19
2.5	A VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO ₂ DO SOLO.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.1.2	Instalação da população de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>.....	24
3.1.3	Instalação da população de <i>Myracrodruon urundeuva</i>.....	24
3.2	AVALIAÇÕES E ANÁLISES.....	25
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento na concentração dos gases do efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), promoveram mudanças climáticas que vem causando grande impacto nos sistemas naturais, em todos os continentes e oceanos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC, 2014). Em escala global, a queima de combustíveis fósseis é considerada a principal fonte de emissão de CO_2 para a atmosfera. No Brasil, em 2012, o setor agropecuário e o uso da terra e florestas contribuíram com cerca de 37 e 15% das emissões de CO_2 , respectivamente (BRASIL, 2014).

O processo de perda de carbono do solo para a atmosfera é denominado emissão de CO_2 do solo (FCO_2), ou respiração do solo, resultante da atividade microbiana (oxidação química) e respiração das raízes, sendo considerada a segunda maior fonte de CO_2 para atmosfera, atrás apenas dos oceanos. A redução do estoque de carbono do solo via FCO_2 é influenciada principalmente pelo uso e manejo dos solos, podendo causar impactos significativos na concentração de CO_2 da atmosfera. Estimativas tem apontado que, devido ao uso e mudança no uso da terra, geralmente associado a práticas agrícolas, uma quantidade significativa de emissão de gases de efeito estufa é emitido pelo Brasil (BERNOUX et al., 2002). A conversão de ecossistemas nativos para fins agrícolas é reconhecidamente uma prática que causa grandes perdas de Carbono (C). Por outro lado, o solo quando manejado adequadamente pode atuar como sumidouro de C, dependendo das práticas de cultivo e manejo aplicados (OGLE; PAUSTIAN, 2005; DOLAN et al., 2006).

As florestas plantadas de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares de área no Brasil e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto foi de 2,4% ao ano. O Mato Grosso do Sul tem liderado esta expansão, registrando aumento de 400 mil hectares neste período, com uma taxa média de crescimento anual de 13% (IBÁ, 2017). De acordo com La Scala et al. (2012), o eucalipto tem um maior potencial para estocar carbono atmosférico na biomassa aérea e no solo, principalmente quando associado à pastagem ou culturas anuais e, especialmente, na conversão de terras degradadas em terras produtivas e de fontes de energia renováveis. Contudo, ainda são poucos os trabalhos que têm estudado fatores relacionados à dinâmica do carbono do solo em áreas em crescimento de eucalipto do Brasil.

Áreas sob pastagens são convertidas em agricultura ou inseridas em sistemas integrados de cultivo propondo a diversificação estratégica das atividades da agricultura e pecuária no sentido de beneficiar ambos. Nos sistemas integrados de cultivo, o efeito sinérgico entre pastagens, floresta e lavoura apresenta potencial para aumentar os estoques de C no solo, reduzir as emissões de GEE para atmosfera, verticalizar a produção agropecuária, reduzir as pressões de desmatamento nas áreas de expansão agrícola e consequentemente conferir a sustentabilidade ao sistema produtivo (CARVALHO et al., 2010).

A despeito de todos os esforços, os fatores ambientais e atributos do solo que controlam a magnitude de FCO_2 continuam a ser de difícil separação e interpretação, pois estes, assim como a própria perda de C do solo, via respiração, apresentam variabilidade espacial (BICALHO et al., 2017; LATHUILLIERE et al., 2017; CUNHA et al., 2018). As razões para essa dificuldade são decorrentes das numerosas interações entre tais variáveis e FCO_2 , em combinação com diferentes escalas de variação no espaço e no tempo (FIGUEIREDO et al., 2017; BIEDERMAN et al., 2017; GONZÁLEZ-REAL et al., 2017). Nesse sentido, trabalhos recentes têm observado grande variabilidade espacial de FCO_2 (PANOSSO et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013; MOITINHO et al., 2015; TERÇARIOL et al., 2016; ARIAS-NAVARRO et al., 2017).

Diante do exposto, considerando que a respiração do solo pode apresentar grande variação no tempo e no espaço dentro de um ecossistema e que tal processo é influenciado, principalmente pela ação antrópica, por meio do uso e manejo dos solos agrícolas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO_2 e estoque de carbono do solo, bem como estudar sua relação com a temperatura, umidade e grau de humificação da matéria orgânica do solo e demais atributos do solo, em área de floresta plantada de eucalipto e sistema silvipastoril.

2 REVISÃO DE LITERATURA

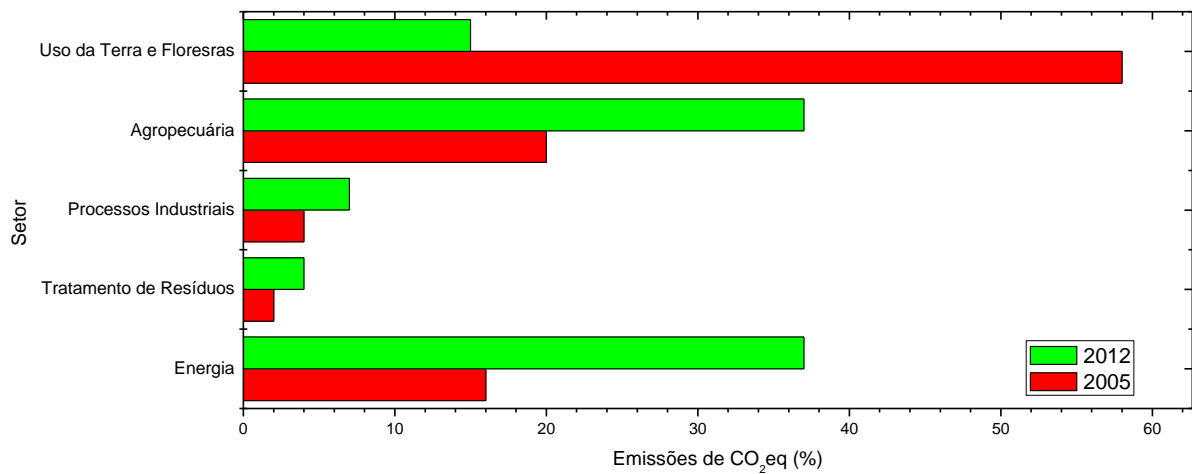
2.1 O EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA

A concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera tem aumentado a níveis preocupantes desde a revolução industrial e, entre os principais GEEs, estão o dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), juntamente com o vapor d'água (H_2O). De acordo com Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), criado em 1988 pelas Nações Unidas para estudar esse fenômeno, o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera terrestre é a principal causa do aquecimento global, representando cerca de 60% das emissões totais. Esse cenário reflete diretamente sobre o clima, em que, uma série de problemas ambientais vêm ocorrendo como secas prolongadas, chuvas intensas, furacões entre outros.

Nesse contexto, diversos cientistas já alertaram que, dentre outros fatores, a mudança no uso do solo e principalmente a queima de combustíveis fósseis têm acelerado o processo de aquecimento global através das emissões de gases de efeito estufa, ocasionando essas perturbações climáticas e ecológicas (IPCC, 2001; 2007). Em 2007, o IPCC, em seu 4º relatório, apontou a agricultura como uma das grandes fontes emissoras de GEEs, sendo responsável mundialmente por aproximadamente 22% das emissões totais de CO_2 , 80% das emissões de N_2O e 55% das emissões de CH_4 (IPCC, 2007).

No Brasil, em 2014, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação lançou a segunda edição das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, onde foi apresentado que as atividades agrícolas e as mudanças do uso da terra são responsáveis por 37 e 15% de CO_2 emitido no país no ano de 2012 (Figura 1) (BRASIL, 2014). Neste mesmo inventário, em relação aos Biomas brasileiros, as emissões do setor mudança de uso da terra e florestas foram dominadas pelo Cerrado, sendo responsável por aproximadamente 62,0% das emissões de CO_2 , ficando o Bioma Amazônico em segundo lugar com 18,7% em termos das emissões deste setor (BRASIL, 2014).

Figura 1 – Variação da participação nas emissões de CO₂ para cada setor, de 2005 para 2012.



Fonte: Adaptado de Brasil (2014).

Contudo, o Brasil é um país que se destaca por ser um dos principais produtores e exportadores de *commodities* agrícolas essenciais, como açúcar e soja. Essa posição de destaque e o fato de que 75% das emissões de CO₂ advêm de atividades agrícolas (CERRI et al., 2007), tem contribuído para colocar o país entre os maiores emissores mundiais de gases de efeito estufa (IPCC, 2014). O mais recente relatório do IPCC (2014), ressaltou que o aquecimento global é uma realidade e destacou a contribuição do ser humano para ocorrência de fenômenos ligados às mudanças climáticas, além de alertar que as mudanças no uso e manejo do solo são responsáveis por aproximadamente um quarto das emissões globais de GEE, que incluem o desmatamento, emissões de CH₄ na agropecuária e de N₂O em solos fertilizados.

Além destes, o intenso preparo do solo, pesticidas, manejo do solo, máquinas e transporte liberam quantidades significativas de GEEs (RAKOTOVAO et al., 2017). A colheita e a adubação, desde o cultivo de plantas até a eliminação de biomassa contribuem para 19-29% das emissões antropogênicas globais de GEE. Desse total, 80-86% referem-se à produção agrícola, incluindo as emissões indiretas associadas às mudanças de cobertura da terra (OERTEL et al., 2016).

Desta forma, embora a agricultura contribua significativamente para o efeito estufa antropogênico (ROBERTSON et al., 2000), a mesma pode ser reduzida, sendo a minimização do desmatamento e queimadas, maximização do sequestro de carbono no solo (VARGAS et al., 2014; WANG et al., 2015) e desenvolvimento de sistemas de manejo do solo com capacidade para mitigar as emissões de GEE uma importante etapa nesse processo de mitigação (SMITH et al., 2007; SÁ et al., 2017). Pois, apesar da agricultura ter sido apontada como uma importante fonte emissora de GEE para a atmosfera, o setor agrícola será também, o mais

afetado devido às elevações na temperatura e alterações no regime de chuvas (PIVETTA, 2013).

2.2 PROCESSO DE EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO

O solo é considerado um importante reservatório de carbono, com cerca de 3,3 vezes mais C do que a atmosfera (LAL, 2004), sendo que, esses níveis de carbono orgânico nos solos são resultantes das complexas interações entre variáveis como a alocação de biomassa, qualidade e quantidade de material orgânico depositado e/ou incorporado aos solos e os regimes de temperatura e umidade (SARTORI et al., 2006).

A estocagem de carbono nos solos se dá por meio de uma função do balanço de entrada e saída de carbono, cujas entradas ocorrem na forma de resíduos vegetais, raízes ou fertilizantes orgânicos (fonte). Porém, as liberações de carbono são decorrentes da mineralização de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo e ocorrem na forma de CO₂ (SIX et al., 2006). De acordo com Frank et al. (2006), as condições climáticas, edáficas e as mudanças no uso da terra (como a conversão de áreas com vegetação natural para a pastagem e a agricultura), são importantes fatores na compreensão do processo de fluxo do CO₂ do solo para a atmosfera.

Contudo, o processo de produção de CO₂ no solo está relacionado à ação dos microrganismos durante o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, além da respiração das raízes das plantas e da respiração fúngica, influenciada pela temperatura e umidade do solo (KUZUYAKOV, 2006). Já o transporte de CO₂ do solo é explicado pela equação de difusão, controlada pelo gradiente de concentração de CO₂ existente entre o solo e a atmosfera (PANOSSO et al., 2008). Em ressalva, solos sem vegetação, a produção de CO₂ em seu interior está vinculada à atividade microbiana (EPRON et al., 2006; LAL, 2009).

E entre os fatores que influenciam essa emissão de CO₂ do solo, destacam-se as interações entre o clima e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tais como como densidade do solo (SAIZ et al., 2006), textura e estabilidade dos agregados (CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012), teor de matéria orgânica (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., 2000a), topografia da área (BRITO et al., 2010), além da temperatura do solo (USSIRI; LAL, 2009; SILVA-OLAYA et al., 2013) e da umidade do solo (LA SCALA et al., 2006; MOITINHO et al., 2013).

Nesse sentido, a grande maioria dos atributos físicos afetam a emissão de CO₂, visto que o transporte está relacionado a estrutura física do solo, principalmente a porosidade que

condiciona fluxo de gases no solo. A porosidade não só viabiliza o armazenamento e o transporte do gás, como também a compactação do solo, ou seja, a alteração nos percentuais de macro e microporosidade, afeta as raízes dos vegetais e as atividades microbianas, responsáveis pela respiração do solo (SIQUEIRA NETO et al., 2011; GOUTAL et al., 2012).

As condições climáticas têm um papel importante na emissão de CO₂, pois atuam diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo promovendo variações diárias, sendo estes os fatores que mais influenciam a emissão de CO₂, exercendo também grande influência sobre a atividade microbiana e de raízes (SOTTA et al., 2006; HERBST et al., 2012; TSAI et al., 1992). As precipitações também são determinantes na intensidade dessas emissões, pois afetam a dinâmica entre o movimento de água e gases no interior do solo. Com a ocorrência de eventos pluviométricos, há elevações no conteúdo de água no solo, favorecendo a expulsão de quantidades significativas de CO₂ do interior do solo, devido à infiltração de água nos espaços porosos (VARELLA et al., 2004; SMART; PEÑUELAS, 2005). Porém, cabe ressaltar que os fatores ambientais flutuam e, portanto, seus efeitos sobre a emissão de CO₂ também possuem grande variação.

Além deste, outros fatores também apresentam grande influência sobre a emissão de CO₂ do solo. Os fatores microbiológicos, por exemplo, possuem grande importância, visto que a biomassa microbiana representa o destino inicial do processo de transformação do carbono no solo, sendo influenciada principalmente pela disponibilidade de carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, teor de água no solo, aeração, pH e granulometria do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Em estudo de Xu e Qi (2001) sobre a emissão de CO₂, esta apresentou correlação significativa e positiva com a biomassa microbiana, biomassa das raízes, nitrogênio, matéria orgânica e teor de magnésio.

A mudança do uso do solo modifica a cobertura e conseqüentemente o conteúdo de carbono no solo. Segundo Lal (1997), o solo quando manejado de forma incorreta pode acarretar a um declínio no estoque de matéria orgânica e, conseqüentemente, no aumento da emissão de CO₂ para atmosfera, visto que o teor de carbono pode ser mineralizado e transferido para atmosfera na forma de CO₂. Portanto, a estratégia principal para o aumento do sequestro de carbono é adoção de práticas adequadas de manejo, além de minimizar a decomposição e mineralização do carbono orgânico do solo, por meio de medidas que promovam a proteção desse carbono (CERRI et al., 2006; PANOSSO et al., 2008).

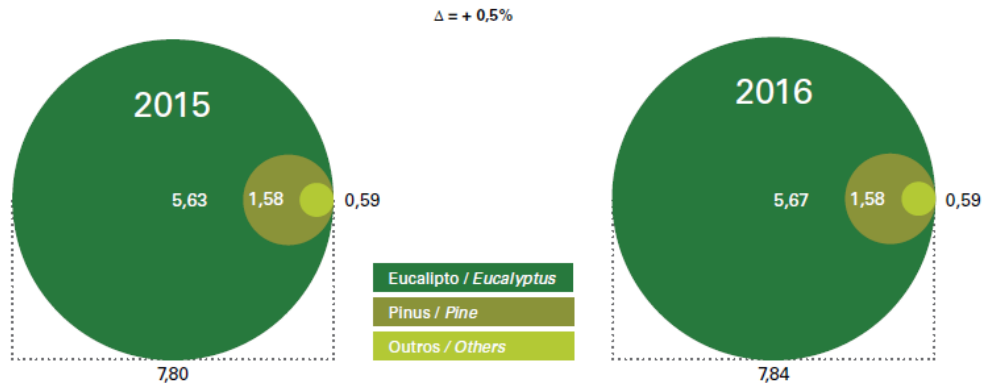
2.3 FLORESTAS PLANTADAS E O GÊNERO *EUCALYPTUS*

As florestas plantadas reduzem a pressão sobre as florestas naturais, contribuindo para a conservação da biodiversidade, com a formação de estoques de carbono por meio da fotossíntese, conservação do solo, ciclagem de nutrientes e muitos outros serviços (IBÁ, 2017), além do reflorestamento ser considerado uma alternativa para aumentar o sequestro do CO₂ atmosférico, devido à elevada taxa de crescimento das árvores e potencial fixação de CO₂ na biomassa. Estima-se que um reflorestamento ou florestamento pode sequestrar de 52 a 104 Mg C ha⁻¹ em um período de 50 anos, sendo que 70% das áreas com esse potencial ocorrem nas latitudes tropicais (SILVER et al., 2004).

Em adição, sabe-se que, o maior tempo de uso do solo sob cultivo florestal pode favorecer o aumento do estoque de C no solo, em que as quantidades mais significativas se acumulam nos primeiros 20 anos (SILVER et al., 2004). No entanto, ainda são poucos os estudos envolvendo estoques de carbono e nitrogênio em florestas plantadas, sendo insuficientes para concluir sobre o efeito do tempo de uso do solo.

As florestas tropicais apresentam alta taxa primária líquida de produção e armazenamento de carbono, desempenhando um papel importante no ciclo do carbono global devido a sua capacidade de estocar 20–25% do carbono terrestre global (BERNOUX et al., 2002; BROWN et al., 2002). Consta-se ainda que, do total de carbono armazenado no solo em todos os continentes, cerca de 75% encontram-se estocados em florestas e, mais especificamente, 50% encontram-se em florestas tropicais (GRACE, 2004; DIAS, 2006). As taxas de crescimento das florestas plantadas brasileiras são até 20 vezes maiores em relação às manejadas em clima temperado, e absorvem em média 63 Mg CO₂ ano⁻¹ (CERRI, 2009). Estima-se que, em 2016, a área total de árvores plantadas no Brasil foi de 7,84 milhões de hectares, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, devido exclusivamente ao aumento das áreas com eucalipto (Figura 2) (IBÁ, 2017).

Figura 2 – Áreas de árvores plantadas no Brasil em 2016.



Fonte: Ibá (2017).

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil em 1825 com a finalidade de ornamentação e como quebra-ventos. Posteriormente, em 1903, para fins econômicos, passou a ser usado quando eram necessários dormentes para atender ao desenvolvimento das estradas de ferro através da Companhia Paulista de Estradas de Ferro – CPEF (ANDRADE, 1961). Desde então, houve grande expansão de possibilidades do seu uso, sendo empregado para diversos fins industriais, como produção de bioenergia, celulose e papel, madeira sólida, móveis, dentre outros (SCOLFORO; FERRAZ FILHO, 2013; HSING et al., 2016).

Atualmente, o eucalipto tem sido a principal essência utilizada nos programas de reflorestamento, entretanto, as mudanças promovidas no solo quase sempre são questionadas. Sabe-se, por exemplo, que ele apresenta alta eficiência de uso de nutrientes, produzindo, como consequência, serapilheira de baixa qualidade nutricional quando comparada àquela da maioria das florestas tropicais naturais (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002). Entre as principais espécies cultivadas no Brasil, destacam-se: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*. Além dos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA- CIB, 2008).

2.4 SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (iLPF)

Os iLPFs são sistemas de uso da terra que se baseiam na diversificação, rotação e consorciação ou sucessão de atividades agropecuárias, de forma conjunta, a onde são cultivadas espécies lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras entre outros), grãos (soja, milho e outros) e sistema de produção animal (ruminantes). Com isso, são gerados inúmeros benefícios para o produtor (receita), para a população (oferta de trabalhos) e para o meio ambiente, com a recuperação de solos degradados, redução a emissão de GEE, além da redução de gastos

excessivos com adubos e fertilizantes, minimizando, assim, as chances de contaminar o meio ambiente (BALBINO et al., 2012).

De acordo com Kluthcouski e Oliveira (2012), o sistema iLPF atualmente, vem ganhando inúmeros adeptos em várias partes do Brasil. Além da expectativa por parte do governo e empresas de pesquisa, que depositam muita confiança nesse sistema, proporcionando excelentes ganhos produtivos, econômicos/financeiro, ambientais e sociais.

Nesse contexto, Balbino et al. (2012) destaca ainda que, o sistema iLPF é a evolução do sistema ILP (Integração Lavoura Pecuária), apenas acrescentando o componente floresta. A classificação desse sistema, pode ser dividida em modalidades diferentes de integração sendo descritas abaixo:

1. **Integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril:** sistema de produção que integra o componente agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão; na mesma área e em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos.
2. **Integração Pecuária-Floresta ou Silvopastoril:** sistema de produção que integra o componente pecuário e florestal, em consórcio.
3. **Integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola:** Sistema de produção que integram o componente florestal e agrícola, pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes).
4. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ou Agrossilvipastoril:** sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente “lavoura” restringe-se ou não a fase inicial de implantação do componente florestal.

Segundo Faria (2015), em pesquisa realizada por um ano no Mato Grosso, foi apontado a eficiência dos sistemas iLPF na redução de gases que causam o efeito estufa, demonstrando assim que o sistema silviagrícola, tendo como componente base a floresta, promove uma significativa redução de gases do efeito estufa (GEE).

Em razão de seus benefícios potenciais, a iLPF faz parte dos compromissos assumidos pelo Brasil na COP-15, que resultaram na criação do Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Com grande potencial de sequestro de carbono pelos elevados acúmulos de biomassa forrageira e florestal e acúmulo de matéria orgânica no solo, ajuda a reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. A meta é ampliar, até 2020, o uso do sistema em 4 milhões de

hectares, evitando que entre 18 e 22 milhões de toneladas de CO₂ equivalente sejam liberadas (BALBINO et al., 2011).

Com isso, diante da perspectiva do aquecimento global, diversas soluções são propostas e, entre elas, pode-se citar o desenvolvimento de sistemas de produção agropecuários mais eficientes e menos impactantes para o ambiente, assim como o desenvolvimento de tecnologias que promovam a mitigação de GEE.

2.5 A VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO

A estatística clássica parte do pressuposto que a variabilidade ao redor da média é aleatória e espacialmente independente (DASSELAAR et al., 1998), porém, dados observados nas ciências do solo tem apresentado dependência espacial, sendo que essa dependência pode variar em escalas de poucos metros a quilômetros (VIEIRA, 2000; SILVA et al., 2004; MONTANARI et al., 2005; SOUZA et al., 2006).

A geoestatística baseia-se na teoria das variáveis regionalizadas, proporcionando a análise da dependência espacial e a estimativa de pontos não amostrados e dos valores médios, precedidos pela estatística descritiva (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985; VIEIRA, 2000). Além disso, possibilita meios para que sejam efetuados mapeamentos, permitindo identificar zonas específicas de manejo, fundamentais produção da agricultura de precisão, o que otimiza o georreferenciamento dos pontos não amostrados e amostrados em termos de qualidade física, química e biológica do solo, bem como sua correlação com o potencial produtivo do solo (CERRI, 2001; MONTANARI et al., 2010; CORRÊA et al., 2015).

A interpolação dos pontos através dos mapas de krigagem, para cada variável, permite avaliar a sua distribuição espacial nas áreas estudadas, fato que não ocorre quando se utiliza somente a estatística clássica, ressaltando assim a importância das ferramentas geoestatísticas nesses tipos de estudos.

Nesse contexto, a geoestatística permite a caracterização da variabilidade espacial da FCO₂, fornecendo informações relevantes a respeito da sua distribuição espacial e ajudando a compreender a dinâmica de CO₂ no solo (BRITO et al., 2009). O teor de água no solo e a temperatura, possivelmente relacionadas às emissões de CO₂, também apresentam dependência espacial (KANG et al., 2003; EPRON et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2011), assim como as propriedades envolvidas nos processos de produção e transporte de CO₂, o que torna complexa a tarefa de explicar as variações espaciais da emissão de CO₂ (PANOSSO et al., 2011).

Estudando a variabilidade espacial e temporal da respiração solo em uma floresta tropical, Rubio e Detto (2017) observaram um alto grau de variabilidade espacial e temporal dos efluxos de CO₂ do solo. Mendonça et al. (2010), em estudos conduzidos em ecossistemas terrestres da Antártica Marítima sob duas vegetações contrastantes concluíram que, a temperatura do solo não pareceu estar relacionada com a variabilidade de emissão de CO₂, entretanto, a distribuição de vegetação estava claramente associada a esta variabilidade. Xu e Qi (2001), em estudos conduzidos em áreas de floresta concluíram que as propriedades do solo, como: biomassa microbiana, teor de matéria orgânica, densidade do solo e teor de magnésio trocável, foram as melhores variáveis para a modelagem da variabilidade espacial da emissão de CO₂ do solo.

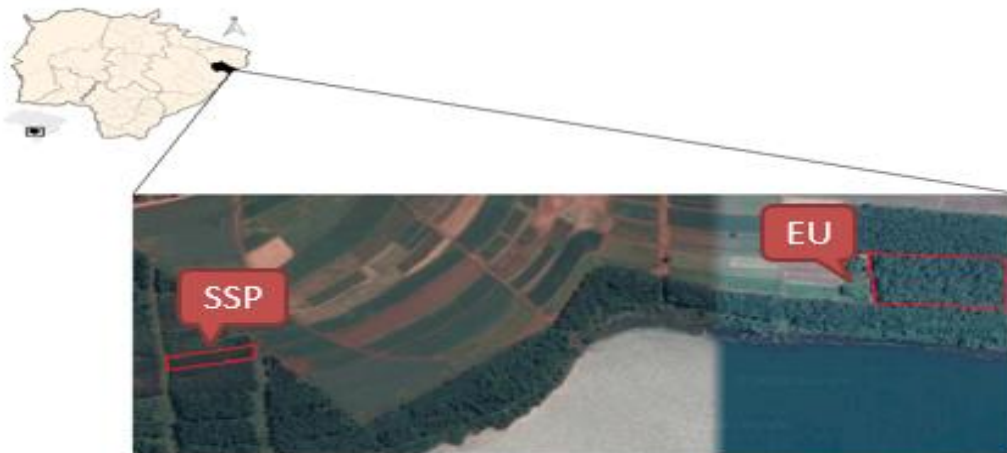
Em adição, a estimativa dos valores de um atributo em locais não amostrados nas áreas experimentais ocorre por meio de técnicas como a krigagem ordinária (KO) através da interpolação dos valores, podendo mapear os atributos do solo dentro de uma área, o que permite indicar alternativas de manejo que reduzam o efeito da variabilidade sobre as culturas (BASARIR et al., 2010; SANTOS et al., 2012), além de ser o método mais utilizado para a interpolação de valores da emissão de CO₂ (LA SCALA et al., 2000b; OHASHI; GYOKUSEN, 2007; KONDA et al., 2008; BRITO et al., 2010). Apesar de todos os esforços, ainda existem grandes incertezas na quantificação de emissão de CO₂ em áreas agrícolas e a sua relação com fatores ambientais e variáveis físicas e químicas do solo que controlam sua magnitude e estrutura de variação espaço-temporal (GRAF et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS - UNESP), localizada no município de Selvíria-MS, à margem direita do rio Paraná, nas coordenadas 20° 22' 31" de latitude Sul e 51° 24' 12" de longitude oeste, com elevação de 363 m acima do nível do mar (Figura 3). O clima da região classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köppen, tropical úmido (Aw), com estações chuvosas no verão e seca no inverno. Apresenta médias anuais de: precipitação 1370 mm, temperatura 23,5 °C e umidade relativa do ar entre 70 e 80%. O solo das áreas experimentais foi classificado segundo as normas da Embrapa como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (SANTOS et al., 2013).

Figura 3 – Localização geográfica das áreas avaliadas na FEPE (FEIS- UNESP), em Selvíria-MS.



Fonte: Google Earth (2018).

As áreas utilizadas para o presente estudo 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). Durante os anos de 1986-1987, as áreas foram convertidas para diferentes usos: floresta plantada de eucalipto (EU) e sistema silvipastoril (floresta de aroeira em consórcio com capim braquiária - SSP).

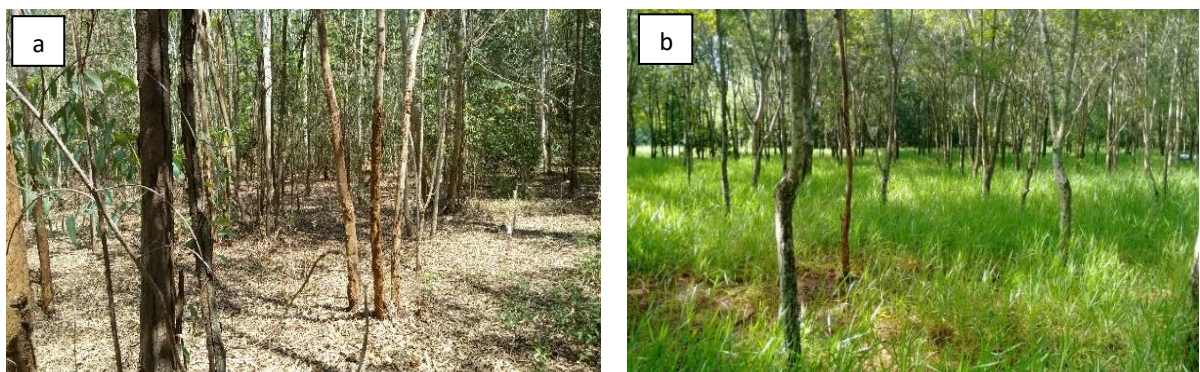
3.1.2 Instalação da população de *Eucalyptus camaldulensis*

A área de EU (Figura 4a) foi formada em 26 de abril de 1986, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia (FEPE), localizada no município de Selvíria-MS, por uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* sob o espaçamento de $4,0 \times 4,0$ m e com área total de 3 ha, onde não foram realizadas práticas de adubação e calagem, desde então. Na época, as mudas matrizes de *Eucalyptus camaldulensis*, foram produzidas no viveiro da Companhia Energética de São Paulo (CESP), em Ilha Solteira – SP, com sementes fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (SILVA, 2010).

3.1.3 Instalação da população de *Myracrodruon urundeuva*

A população de aroeira (*M. urundeuva*), provenientes de teste de progênes, foi instalada em dezembro de 1987 na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP localizada em Selvíria – MS sob espaçamento $3,0 \times 3,0$ m com área total de 1 ha. Este sistema foi naturalmente convertido em sistema silvipastoril (Figura 4b) com a emergência do capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), cujas sementes estavam presentes na área como banco de sementes, sem que houvesse, até o presente momento, nenhum tipo de trato cultural na condução da gramínea (CAMBUIM, 2013).

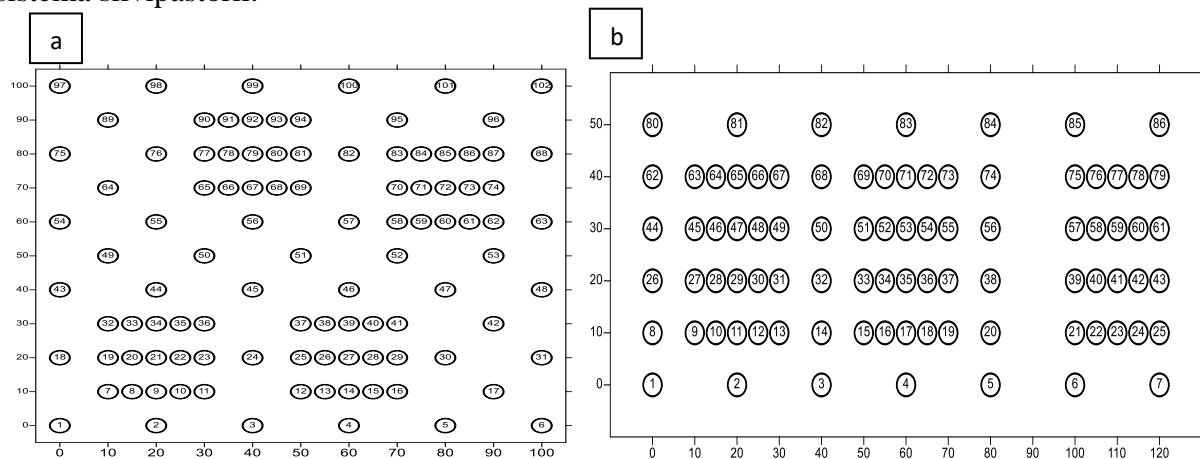
Figura 4 - Foto das áreas de estudo, localizada em Selvíria-MS. a) *Eucalyptus camaldulensis*; b) sistema silvipastoril (*M. urundeuva* e *B. decumbens*).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Foram instaladas duas malhas amostrais, uma de 100×100 m contendo 102 pontos na área de EU (Figura 5a) e outra com 86 pontos amostrais no SSP (Figura 5b), com regiões de adensamento de distâncias mínimas entre pontos de 5 m. Para o estudo das relações de FCO_2 e estoque de carbono (EstC), foram determinados os atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0,00 – 0,10 m.

Figura 5 - Representação das malhas amostrais utilizada no experimento. a) Malha amostral com 102 pontos utilizada na área de eucalipto; d) Malha amostral com 86 pontos utilizada no sistema silvipastoril.



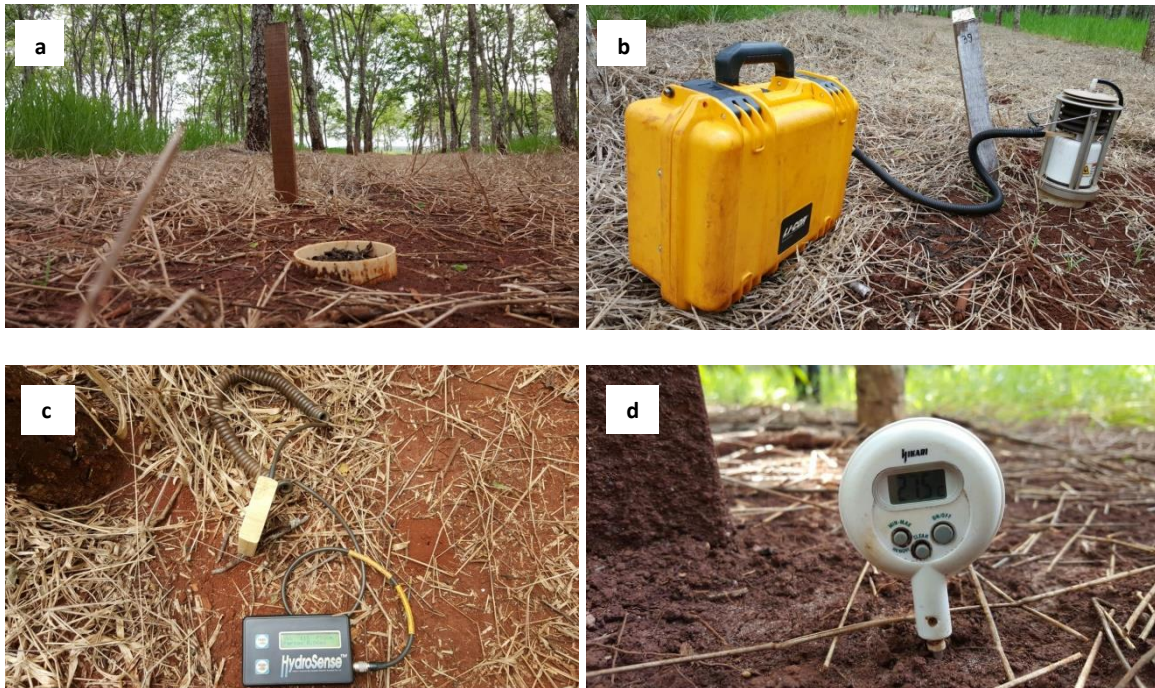
Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2 AVALIAÇÕES E ANÁLISES

O FCO_2 foi registrado por meio do sistema LI-COR (LI-8100), Nebraska EUA. Em seu modo de medição, o sistema monitorou as mudanças na concentração de CO_2 dentro da câmara (Figura 6b) por meio de espectroscopia na região do infravermelho. A câmara para solos apresenta volume interno de $854,2 \text{ cm}^3$ com área de contato circular de $83,7 \text{ cm}^2$. Essa câmara foi colocada sobre colares de PVC (Figura 6a) com diâmetro de 0,10 m previamente inseridos no solo em cada ponto amostral na profundidade de 0,03 m. Uma vez a câmara fechada, o modo de medida levou 1min e 30s em cada ponto para a determinação de FCO_2 e, dentro da câmara, a concentração de CO_2 foi determinada a cada 2,5s.

A temperatura do solo (T_{solo}) foi registrada por meio de sensor de temperatura de haste (Figura 6d) inserido no interior do solo a 0,05 m do local onde foram previamente instalados os colares de PVC. A umidade do solo (U_{solo}) foi determinada por meio de um equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália - Figura 6c) que avaliou a umidade disponível do solo (% volume) na profundidade de 0,00-0,12 m.

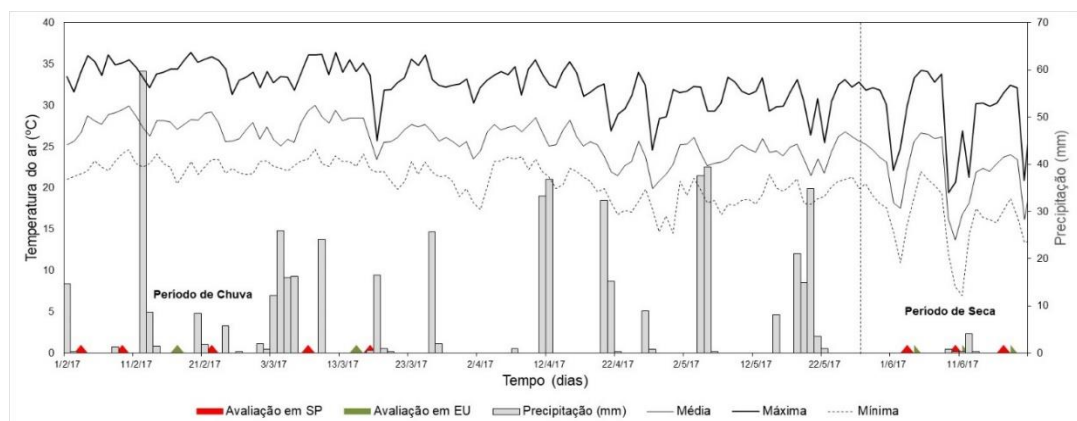
Figura 6 - Colar de PVC (a); Sistema LI-8100 interligado à câmara de solos inserida sobre o colar de PVC (b); TDR - Hydrosense system, sistema portátil utilizado para avaliação da Umidade do Solo (c) e Sensor de temperatura de haste (d).



Fonte: Elaboração da própria autora.

As avaliações de FCO₂, Tsolo e Usolo foram realizadas no período de 03 de fevereiro a 17 de junho de 2017, durante o período da manhã entre 7 e 10 h, totalizando nove períodos de leituras (03, 09 e 22 de fevereiro, 03, 08 e 17 de março e 03, 10 e 17 de junho) para o SSP e cinco períodos (17 de fevereiro, 15 de março e 03, 10, 17 de junho) para o EU. A Figura 7 indica os dias de precipitação e os dias em que foram avaliadas o FCO₂, Tsolo e Usolo em ambas as áreas de estudo.

Figura 7 - Precipitação pluvial durante o período de avaliação do experimento na área de sistema silvipastoril e floresta plantada de eucalipto, localizada no município de Selvíria-MS.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Ao fim do período de monitoramento, entre os meses de setembro a novembro de 2017, amostras de solo foram coletadas, em cada ponto, nas profundidades de 0,00-0,10 m, e secas ao ar, antes de serem submetidas a qualquer tipo de análise. Após a secagem foram destorroadas e passam pela peneira de malha 2 mm. Para a caracterização química, foram realizadas as seguintes análises de rotina: determinação do teor de matéria orgânica (MO), de P disponível, K, Ca, Mg e acidez potencial (H + Al). Foram calculadas a soma de bases (SB), saturação por base (V%) e a capacidade de troca de cátions (CTC). Cálcio, magnésio e potássio trocáveis e fósforo disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001).

Para a caracterização física, foram realizadas as seguintes análises: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT). A Ds foi determinada em amostras indeformadas coletadas com amostrador adaptado a cilindros com dimensões médias de 0,05 m de diâmetro interno e 0,04 m de altura (EMBRAPA, 1997). O estoque de carbono (Mg ha⁻¹) foi calculado multiplicando a concentração de Carbono (g kg⁻¹) pela densidade do solo Ds (g dm⁻³) e pela espessura da camada de solo equivalente (m).

A distribuição de poros por tamanho, Ma e Mi foi determinada utilizando-se de funil de placa porosa sob a tensão de 0,6 m 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 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 1997). A PT foi calculada por meio da soma entre Ma e Mi.

Para a determinação do grau de humificação da matéria orgânica (H_{LIFS}) foram utilizadas as análises de fluorescência induzida por laser (LIFS), em setembro de 2017. Essa técnica (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, relacionados com o processo de humificação (MILORI et al., 2006).

A equação para a determinação do H_{LIFS} foi proposto por Milori et. al. (2006), apresentada a seguir:

$$H_{LIFS} = \frac{fA}{tC} \quad (1)$$

Em que fA corresponde a área de fluorescência sob o espectro e tC é o teor de carbono total.

Primeiramente, foram preparadas duas pastilhas por amostra de solo com dimensões de 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. As pastilhas, com massa de aproximadamente 0,5 g, foram produzidas por meio de uma prensa hidráulica, aplicando-se uma carga de 12 toneladas, durante 3 minutos. Os espectros LIFS foram capturados utilizando um sistema montado pela Embrapa Instrumentação Agropecuária. 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 (H_{LIFS}).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Inicialmente, os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média, mediana, erro-padrão da média, mínimo, máximo e coeficientes de variação, assimetria e curtose) e foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste *t-Student* a 5% de probabilidade. O coeficiente de variação (CV) foi calculado com base no critério de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o CV como baixo <12%, médio de 12% a 24% e alto >24%.

A variabilidade espacial (magnitude e direção) foi analisada utilizando a modelagem do semivariograma experimental, que tem como base a teoria das variáveis regionalizadas (VIEIRA, 2000), o qual é estimado pela equação 2:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

Em que $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h , $Z(x_i)$ é o valor da variável Z no ponto x_i e $Z(x_i+h)$ é o valor da variável Z no ponto x_i+h .

Aos semivariogramas experimentais foram ajustados os seguintes modelos teóricos: exponencial (3), esférico (4) e gaussiano (5).

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\}; h > 0 \quad (3)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; 0 \leq h \leq A_0 \quad \text{então} \quad \hat{\gamma}(h) = C_0 + C; h \geq a \quad (4)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h^2}{a} \right) \right] \right\}; 0 < h < d \quad (5)$$

sendo d a máxima distância na qual o semivariograma foi definido, C_0 corresponde ao efeito pepita; C_0+C ao patamar e a ao alcance do semivariograma.

A escolha do melhor modelo que se ajustou aos semivariogramas experimentais utilizados no método da krigagem ordinária foi realizada por meio da validação cruzada. O processo de validação cruzada, que consiste na remoção de cada observação pertencente ao conjunto de dados com subsequente estimativa do seu valor, pelo método de interpolação (krigagem ordinária), foi utilizado para a verificação da confiabilidade do modelo matemático ajustado. O modelo escolhido foi aquele que melhor estimou os valores observados, ou seja, aquele que produziu uma equação de regressão linear entre os valores observados, em função dos valores estimados o mais próximo da bissetriz (intercepto igual a zero e coeficiente angular igual a um) (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais foram utilizados na estimativa dos atributos estudados em locais não amostrados por meio da técnica de krigagem ordinária. Nesse processo as estimativas foram feitas a partir da equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (6)$$

sendo Z^* , o valor a ser estimado no ponto não amostrado x_0 ; N , o número de valores vizinhos medidos $Z(x_i)$ envolvidos na estimativa e λ_i os pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$.

Na análise da razão de dependência espacial (proporção em percentagem do (C_0) em relação ao (C_0+C_1)) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), onde valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ menores que 25% são considerados com dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ entre 25 e 75% indicam dependência espacial moderada, e valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ maiores que 75%, dependência espacial fraca.

As estatísticas descritivas do presente estudo foram realizadas por meio do programa R, de domínio público (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018). Os semivariogramas foram modelados por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis, foi realizado à interpolação dos dados por meio da krigagem e, em seguida, a confecção dos mapas de isolinhas foram geradas no software Surfer versão 9.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas do FCO₂, Tsolo e Usolo nos dias avaliados para SSP e EU são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. As variáveis apresentaram valores de média e mediana próximos, indicando assim simetria nos dados. Os coeficientes de assimetria e curtose apresentaram valores positivos e negativos, porém foi possível observar altos valores de coeficientes para as variáveis em determinados dias de avaliação. Os coeficientes de assimetria e curtose indicam se a distribuição dos dados de uma variável está próxima à distribuição normal (coeficientes iguais ao zero).

A maior média de FCO₂ ocorreu na área de EU e a menor na área de SSP (7,22 e 2,56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). As médias registradas no SSP variaram entre 2,56 a 5,16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 1). Figueiredo et al. (2017) ao estudar o FCO₂ e a suas correlações com as propriedades do solo em pastagem manejada e degradada no estado de São Paulo, observaram médias de 5,96 e 8,73 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para pastagem maneja e degradada respectivamente.

As médias do EU variaram entre 3,31 e 7,22 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 2), valores elevados em comparação com alguns outros resultados como os observados por Epron et al. (2004), que ao avaliar as variações espaço-temporais da respiração do solo em floresta de eucalipto de 3 anos no Congo, encontraram valores de emissão de CO₂ que variaram de 1,6 a 5,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Possivelmente, a quantidade de serapilheira e o tempo sob cultivo tenha influenciado a emissão de CO₂. Pois, a presença de resíduo na superfície do solo mantém a temperatura e condições de umidade ideais para o processo de decomposição, além de melhorar a estrutura física do solo promovendo maior fluxo de gases no solo e estimulando a atividade microbiana (MEDEIROS et al., 2011; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012). Ainda conforme Epron et al. (2004), a maior emissão de CO₂ foi detectada em regiões com maior concentração de resíduo vegetal sobre o solo.

Os coeficientes de variação (CV), observados para FCO₂ nos 86 pontos amostrais do SSP, variaram de um mínimo de 18% a um máximo de 54% (Tabela 1). Enquanto que para a área de EU foram observados, em seus 102 pontos amostrais, valores de CV entre 35 e 49% (Tabela 2). Em estudo na região central da Itália, em áreas com florestas plantadas de carvalho, Tedeschi et al. (2006) verificaram valores de coeficiente de variação entre 31 e 48%. Estes valores de CV representam média e alta variabilidade para as áreas avaliadas segundo o critério proposto por Warrick e Nielsen (1980). Terçariol et al. (2016), estudando a variabilidade

espacial do FCO_2 em soja e em cana-de-açúcar na região de cerrado do Mato Grosso do Sul, observaram CV que variaram de 43 a 64% e 40 a 117%, respectivamente.

Porém, a comparação entre os FCO_2 de diferentes estudos através do CV não é o suficiente, devido à falta de padronização no esquema experimental, como o tamanho e a forma da área, o número de pontos amostrais e o seu arranjo espacial (FANG et al., 1998). Nos casos em que os valores de CV apresentam de moderada a alta variação, justifica-se o uso da técnica de geoestatística, visando-se caracterizar os padrões de variabilidade espacial dos atributos estudados (PANOSSO et al., 2011).

Verifica-se também que a T_{solo} apresentou valores médios variando de 19,63 a 28,70 °C para o SSP, e 21,34 a 27,96 °C para área de EU, com baixos valores de CV (Tabela 1 e 2). Por meio da ampla avaliação da média permitida, a menor média de T_{solo} entre os dias avaliados coincidiu com a menor média apresentada de FCO_2 que por sua vez ocorreu no dia de avaliação que registrou a menor temperatura média do ar (Figura 7) para ambas as áreas, no dia 10 de jun. Entretanto, a avaliação da temperatura do solo na influência do FCO_2 deve ser analisada com cautela, uma vez que a temperatura do solo possui relação com a umidade do solo.

Contudo, as áreas apresentaram teores de U_{solo} variando de 9 a 35% (SSP) e 7 a 13% (EU), com CV na ordem de 1,77 a 40,38 %, para ambas as áreas (Tabelas 1 e 2). Estes valores registrados indicam que a U_{solo} apresenta maiores valores no SSP que no EU. Através desses resultados pode-se inferir que a ação da interceptação solar incidente no dossel florestal da aroeira aliado a cobertura promovida pela palhada da braquiária, fornece um microclima favorável à manutenção da U_{solo} .

Tabela 1 - Análise descritiva para as emissões de CO₂, umidade e temperatura do solo nos dias estudados de fevereiro a junho na área de silvipastoril.

Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Emissão CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)							
03/fev	3,35	3,15	0,19	0,3/8,6	53,55	0,72	0,25
09/fev	5,16	4,95	0,14	3,0/12,8	25,73	2,75	12,95
22/fev	4,90	4,79	0,12	2,9/9,6	23,35	1,30	3,23
03/mar	4,53	4,41	0,12	2,9/9,6	23,83	1,52	4,54
08/mar	4,33	4,17	0,15	1,7/9,5	31,31	1,40	3,14
17/mar	4,53	4,44	0,09	3,1/7,4	17,82	1,00	1,17
03/jun	3,36	3,13	0,12	0,8/10	32,71	2,95	15,45
10/jun	2,56	2,44	0,06	1,6/4,6	23,38	1,28	1,95
17/jun	2,97	2,85	0,07	2,1/4,9	20,51	1,27	1,77
Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Temperatura (°C)							
03/fev	26,67	26,70	0,03	25,9/27,3	0,92	-0,46	0,71
09/fev	28,55	28,60	0,03	27,5/29,2	0,98	-0,50	1,37
22/fev	28,70	28,80	0,05	27,4/30,2	1,52	-0,26	1,20
03/mar	28,29	28,30	0,04	27,2/29,7	1,39	-0,03	1,60
08/mar	28,23	28,30	0,12	18,4/29,9	4,03	-7,70	67,34
17/mar	23,46	23,43	0,03	22,9/24,5	1,05	0,91	2,75
03/jun	20,74	20,40	0,19	18,7/29,6	8,63	3,85	15,77
10/jun	19,63	20,00	0,13	17/28	6,16	3,79	26,71
17/jun	21,62	21,60	0,05	20,3/22,7	2,20	0,19	-0,18
Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Umidade (%)							
03/fev	35,37	36	0,41	22/44	10,78	-1,09	2,70
09/fev	11,67	10	0,51	5/24	40,38	1,05	0,31
22/fev	20,81	20,5	0,52	11/35	23,33	0,5	0,32
03/mar	18,99	19	0,39	12/30	18,92	0,51	0,38
08/mar	25,85	26	0,28	19/32	10,01	-0,14	0,30
17/mar	30,05	30,05	0,06	28,6/31,3	1,77	-0,15	0,31
03/jun	8,52	8	0,29	4/17	31,26	0,59	0,45
10/jun	20,52	20	0,29	16/29	12,98	0,59	0,45
17/jun	19,52	19	0,29	15/28	13,65	0,59	0,45

Med= Mediana; *EP*= Erro padrão da média; *Min*= Mínimo; *Max*= Máximo; *CV*= Coeficiente de Variação (%); *Ass*= Coeficiente de Assimetria; *Cut*= Coeficiente de Curtose.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A Tabela 3 apresenta a comparação das médias de FCO₂, T_{solo} e U_{solo} nos períodos de chuva (fevereiro a março) e de seca (junho). É possível observar que houve diferença significativa pelo teste *t-Student* a 5% de probabilidade entre os períodos nas respectivas áreas estudadas. Para o SSP a média do FCO₂ no período da chuva foi de 4,47 μmol m⁻² s⁻¹ e na seca foi de 2,96 μmol m⁻² s⁻¹ e para o EU as médias foram 5,84 μmol m⁻² s⁻¹ no período da chuva e 3,86 μmol m⁻² s⁻¹ no período de seca.

Tabela 2 - Análise descritiva para as emissões de CO₂, umidade e temperatura do solo nos dias estudados de fevereiro a junho na área de eucalipto.

Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Emissão CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)							
17/fev	7,22	6,82	0,25	2,68/18,4	35,55	1,39	3,43
15/mar	4,47	4,61	0,21	1,4/10,7	48,52	0,44	-0,22
03/jun	4,04	3,90	0,15	0,84/9,79	36,40	1,17	2,87
10/jun	3,31	3,11	0,15	0,65/12,72	46,92	2,75	13,76
17/jun	4,24	3,87	0,15	1,17/9,81	34,65	1,22	2,42
Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Temperatura (°C)							
17/fev	27,82	27,70	0,07	26,5/30,9	2,54	1,01	2,31
15/mar	27,96	28,00	0,03	27,5/28,9	1,04	0,60	0,85
03/jun	22,02	22,00	0,06	20,6/24,3	2,81	0,50	0,91
10/jun	21,34	21,40	0,06	19,2/22,7	2,90	-0,87	1,73
17/jun	22,87	22,90	0,05	21,5/24,3	2,01	-0,10	1,17
Dia	Média	Med	EP	Min/Max	CV	Ass	Cut
Umidade (%)							
17/fev	11,39	11,00	0,19	5/18	16,67	0,31	2,60
15/mar	11,46	11,60	0,21	4,6/18,7	18,76	0,34	2,74
03/jun	12,74	12,90	0,25	4,4/20,2	19,64	0,14	2,17
10/jun	10,72	10,60	0,26	2/19	24,68	0,15	1,71
17/jun	6,87	6,78	0,21	2,05/15,28	31,15	0,97	2,56

Med= Mediana; *EP*= Erro padrão da média; *Min*= Mínimo; *Max*= Máximo; *CV*= Coeficiente de Variação (%); *Ass*= Coeficiente de Assimetria; *Cut*= Coeficiente de Curtose.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Ressalta-se que tanto no SSP como na floresta plantada de EU, as maiores médias de FCO₂ foram observadas na estação chuvosa (Tabela 3). Este fato pode estar relacionado como a temperatura elevada e as precipitações mais recorrentes nesse período. De acordo com Panosso et al. (2009) alterações na emissão de CO₂ do solo após as precipitações são advindas das relações dessa variável com a umidade e temperatura do solo. Além disso, diversos autores relatam a interferência do período de avaliação no FCO₂, com maior emissão no período mais úmido do ano (XU; QI, 2001; EPRON et al., 2004; KOSUGI et al., 2007; SONG et al., 2013), esse evento pode estar relacionado com a maior atividade microbiana que é estimulada pela umidade do solo e/ou pela atividade das raízes que estão no período de crescimento e desenvolvimento.

Verifica-se ainda que a maior média do FCO₂ do solo (Tabela 2 - 7,22 μmol m⁻² s⁻¹), observada na área de EU, ocorreu no dia 17 de fev, cuja leitura foi realizada após um período de maior umidade do solo, devido à precipitação de 69,8 mm ocorridas entre os dias 12 e 14 de fev. Tal resultado está de acordo com a literatura, visto que La Scala et al. (2000b) observaram um aumento de 63% no FCO₂ de um Latossolo nu depois de um período chuvoso (14,4 mm), sendo atribuído à forte dependência do FCO₂ a umidade do solo, a precipitação pluviométrica e as condições favoráveis à atividade dos microrganismos do solo que causaram interferências

nos padrões do FCO₂ do solo.

A Usolo influencia diretamente no FCO₂, principalmente por conta da interação da água da chuva com os espaços porosos do solo (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008), podendo favorecer ou inibir o fluxo do gás. Entretanto, não é apenas esse fator que influencia na maior ou menor FCO₂, pois segundo Panosso et al. (2011), a temperatura do solo e as variáveis relacionadas à matéria orgânica do solo podem ser importantes fatores no entendimento dos maiores níveis de FCO₂ em sistemas de cana-crua e cana-queimada e D'Andréa et al. (2011) observaram que os fatores bióticos (atividade das plantas e de microrganismos) foram dominantes em relação a temperatura e a umidade do solo em áreas de cafeeiro.

Tabela 3 - Estatística descritiva para emissão de CO₂ do solo (FCO₂), temperatura do solo (Tsolo) e umidade do solo (Usolo), nos períodos da seca e da chuva nas áreas de silvipastoril e eucalipto no ano de 2017.

Silvipastoril								
	Chuva				Seca			
	Média	EP	Min/Max	CV (%)	Média	EP	Min/Max	CV (%)
FCO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	4,47 a	0,06	0,3/12,81	31,4	2,96 b	0,05	0,78/9,97	29,2
Ts (°C)	27,32 a	0,08	18,4/30,2	7,1	20,64 b	0,10	16,6/29,6	7,4
Us (%)	23,79 a	0,38	5/44	35,8	16,04 b	0,37	4/29	37,5
Eucalipto								
FCO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	5,84 a	0,19	1,4/18,4	46,9	3,86 b	0,09	0,65/12,72	40,0
Ts (°C)	27,89 a	0,04	26,5/30,9	1,9	22,08 b	0,05	19,2/24,3	3,8
Us (%)	11,42 a	0,14	4,6/18,7	17,7	10,11 b	0,20	2/20,2	34,0

EP= erro-padrão da média; Min= mínimo; Max= máximo; CV= coeficiente de variação. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem ao teste *t-Student* à 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A estatística descritiva das propriedades química e física do solo e os resultados da comparação de médias, pelo teste *t-Student* a 5% de probabilidade, entre as áreas analisadas constam na Tabela 4. Todos os atributos químicos do solo apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) quando as áreas são comparadas. Entretanto, dos atributos físicos, somente a Ma não diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre as áreas (sendo valores de 0,11 e 0,10 m³ m⁻³ para o SSP e área de EU respectivamente). Pôde-se observar que a área de EU foi melhor quimicamente que o SSP, porém, em relação as características físicas, o SSP apresentou melhores resultados. Segundo o critério proposto por Warrick e Nielson (1980), a maioria dos atributos apresentaram CV variando entre baixos e altos para o SPP e entre médios e altos para o EU.

O EstC (Tabela 4) diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre as áreas avaliadas neste estudo, indicando o efeito desses sistemas no acúmulo de carbono no solo. Analisando a Tabela 4, observa-se que o EstC foi maior no EU que no SSP. Segundo Corazza et al. (1999), este

evento pode estar sendo influenciado pela serapilheira do eucalipto que são depositados no solo e, após a decomposição, promovem o aumento do teor de C na camada superficial, o que também é complementado pela decomposição de raízes, mais abundantes na superfície. No SSP esperava-se que o conteúdo de C fosse maior na profundidade avaliada. Porém, conforme os mesmos autores, em sistemas com pastagem, há uma tendência de aumento do conteúdo de C em profundidade, indicando que para o SSP os maiores acúmulos de carbono devem ter ocorrido em camadas mais profundas do solo, fato esse que pode ser atribuído à ação do sistema radicular da braquiária.

O grau de humificação da matéria orgânica do solo (H_{LIFS}) é um dado importante, pois se correlaciona tanto com a estabilidade do carbono no solo quanto com a fertilidade do mesmo. Apesar da área de EU apresentar um maior valor do EstC ($21,75 \text{ Mg ha}^{-1}$), na profundidade avaliada, quando comparado ao SSP ($20,26 \text{ Mg ha}^{-1}$), este também apresenta maior valor H_{LIFS} , indicando material orgânico mais humificado, ou seja, mais recalcitrante à decomposição.

Contudo, o SSP foi a área com taxas médias de emissão de CO_2 mais baixas, o que pode ser explicado pelo resultado elevado da acidez potencial ($H+AL$) ($85,99 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo e o baixo pH (3,99) (Tabela 4), evidenciando assim que a acidez pode diminuir a população de microrganismos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, contribuindo para diminuição do efluxo de CO_2 .

Tabela 4 - Análise descritiva para as propriedades química e física do solo na profundidade de 0,00 – 0,10 m nas áreas de silvipastoril e eucalipto.

	Média	EP	Min	Max	CV	Média	EP	Min	Max	CV
	Silvipastoril					Eucalipto				
P (mg dm ⁻³)	3,71 b	0,16	2	9	39,42	6,07 a	0,24	1	17	40,71
MO (g dm ⁻³)	29,16 b	0,36	23	39	11,45	31,31 a	0,58	15	45	18,82
pH (CaCl ₂)	3,99 b	0,01	3,8	4,3	2,57	4,29 a	0,04	3,5	5,7	10,17
K (mmol _c dm ⁻³)	3,12 a	0,17	1,5	11,5	49,37	1,33 b	0,05	0,6	3	34,19
Ca (mmol _c dm ⁻³)	5,91 b	0,17	4	11	26,56	15,34 a	0,85	2	36	55,67
Mg (mmol _c dm ⁻³)	7,87 b	0,25	4	17	29,98	13,78 a	0,49	4	33	35,55
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	85,99 a	1,75	0	109	18,87	59,70 b	1,76	25	121	29,82
Al (mmol _c dm ⁻³)	15,24 a	0,36	6	25	21,98	6,22 b	0,45	0	19	72,82
SB (mmol _c dm ⁻³)	16,90 b	0,48	10,6	31,2	26,29	34,23 a	1,89	9,1	100,4	55,75
CTC (mmol _c dm ⁻³)	102,88 a	1,72	13,6	127,6	15,51	93,93 b	1,80	43,1	137,6	19,37
V (%)	16,22 b	0,49	10	30	27,74	35,63 a	1,52	9	78	43,14
Ma (m ³ m ⁻³)	0,11 a	0,00	0,03	0,2	39,86	0,10 a	0,00	0,03	0,26	38,91
Mi (m ³ m ⁻³)	0,42 a	0,00	0,35	0,5	8,09	0,34 b	0,00	0,18	0,47	14,10
PT (m ³ m ⁻³)	0,53 a	0,00	0,45	0,7	5,64	0,44 b	0,01	0,24	0,64	14,73
DS (g dm ⁻³)	1,23 b	0,01	1,00	1,4	5,64	1,31 a	0,02	0,95	1,60	12,89
EstC (Mg ha ⁻¹)	20,26 b	0,25	15,98	27,1	11,45	21,75 a	0,41	10,42	31,26	18,82
H _{LIFS} (u.a.)	30853,08 b	386	22048	38723	11,6	36657,95 a	770,47	24196	70867	21,23

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem ao teste *t-Student* à 5% de probabilidade. EP = erro-padrão da média; M_{ín} = mínimo; Máx = máximo; CV = coeficiente de variação; P = fósforo disponível; MO = teor de matéria orgânica; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; Al = alumínio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V(%) = saturação por base; Ma = macroporosidade; Mi = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo; EstC = estoque de carbono; H_{LIFS} = grau de humificação da matéria orgânica do solo; u.a. = unidade arbitrária.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Outro aspecto importante que pode ser levado em consideração quanto às diferenças observadas no FCO₂ entre as áreas, são os maiores valores médios de MO observados no EU, visto que, geralmente, a matéria orgânica do solo é uma das principais fontes de produção de CO₂ no solo, promovida pela atividade microbiana (BALL et al., 1999; DOMINY et al., 2002; KEMMITT et al., 2008). Indicando que as variáveis relacionadas à matéria orgânica do solo são importantes fatores no entendimento dos maiores níveis de FCO₂ observados na área de EU, quando comparado ao SSP.

Na Tabela 5 e Figuras 8, 9, 10 e 11 constam os parâmetros dos semivariogramas estimados para FCO₂, T_{solo}, U_{solo}, EstC e H_{LIFS} para todas as leituras feitas no período de avaliação na área de SSP. Os modelos ajustados aos semivariogramas para FCO₂ foram predominantemente esféricos e exponenciais, com exceção do dia 09 de junho que o modelo ajustado foi o gaussiano, e a maioria apresentam coeficientes de determinação (R²) altos, indicando de modo geral bons ajustes dos modelos aos semivariogramas experimentais. A maioria dos modelos de variabilidade espacial de FCO₂ observados na literatura tem sido descrito por modelos esféricos ou alternâncias entre modelos esféricos e exponenciais (LA SCALA et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2013; LEON et al., 2014; BAHIA et al., 2015; FIGUEIREDO et al., 2017). Os modelos exponenciais são mais bem ajustados a fenômenos

erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

O alcance é um parâmetro muito importante, pois representa a distância na qual o semivariogramas atinge o patamar e define o limite da dependência espacial, ou seja, pares de pontos separados por distâncias inferiores ao valor de alcance apresentam autocorrelação espacial, caso contrário os valores são considerados aleatórios, independentes. Em relação ao alcance (a), observa-se valores que variaram de 19,8 a 87,9 m. Campos et al. (2016), avaliando o FCO_2 em um gradeado de 48 x 88 m em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau e café, obtiveram valores de alcance variando de 25 a 40 m. Alterações nos alcances dos modelos de variabilidade espacial de emissão de CO_2 do solo têm sido verificados entre estações do ano (OHASHI; GYOKUSEN, 2007), após ocorrências de precipitação (LA SCALA et al., 2000b), e até mesmo devido ao tamanho da malha amostral (RAYMENT; JARVIS, 2000; KONDA et al., 2008).

Para a Tsolo a maioria dos modelos ajustados foram exponenciais, com bons ajustes dos modelos aos semivariogramas experimentais (representados pelos altos valores de R^2) e com alcances variando de 21 m (09 de fev) a 76,9 m (17 de mar). A Usolo também apresentou predominantemente modelos exponenciais, bons valores de R^2 e os alcances (a) encontrados foram de 9,2 m (08 de mar) a 39,3 m (09 de fev). E para o EstC e H_{LIFS} , o modelo que melhor se ajustou foi o esférico com elevado R^2 para ambos (0,93 para EstC e 0,91 para H_{LIFS}) e valores de alcances foram de 31,2 m (EstC) e 29,9 m (H_{LIFS}), conforme a Tabela 5.

O grau de dependência espacial (GDE) das variáveis analisadas foi determinado de acordo com a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). O GDE para o FCO_2 do solo no SSP foi classificado predominantemente como moderado para todos os dias avaliados (Tabela 5). Resultados estes semelhantes aos encontrados por Teixeira et al. (2013), que observaram estruturas de moderada dependência espacial, para o FCO_2 em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Para a temperatura e a umidade do solo, GDE foi classificado entre forte e moderado. Já o EstC e o H_{LIFS} aparentaram moderada dependência espacial, na área de SSP (Tabela 5).

Tabela 5 - Modelos e estimativas dos parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais para a emissão de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹), temperatura (°C), umidade do solo (%), estoque de carbono (EstC) e grau de humificação (H_{LIFS}) para os dias analisados, em área de sistema silvipastoril no ano de 2017.

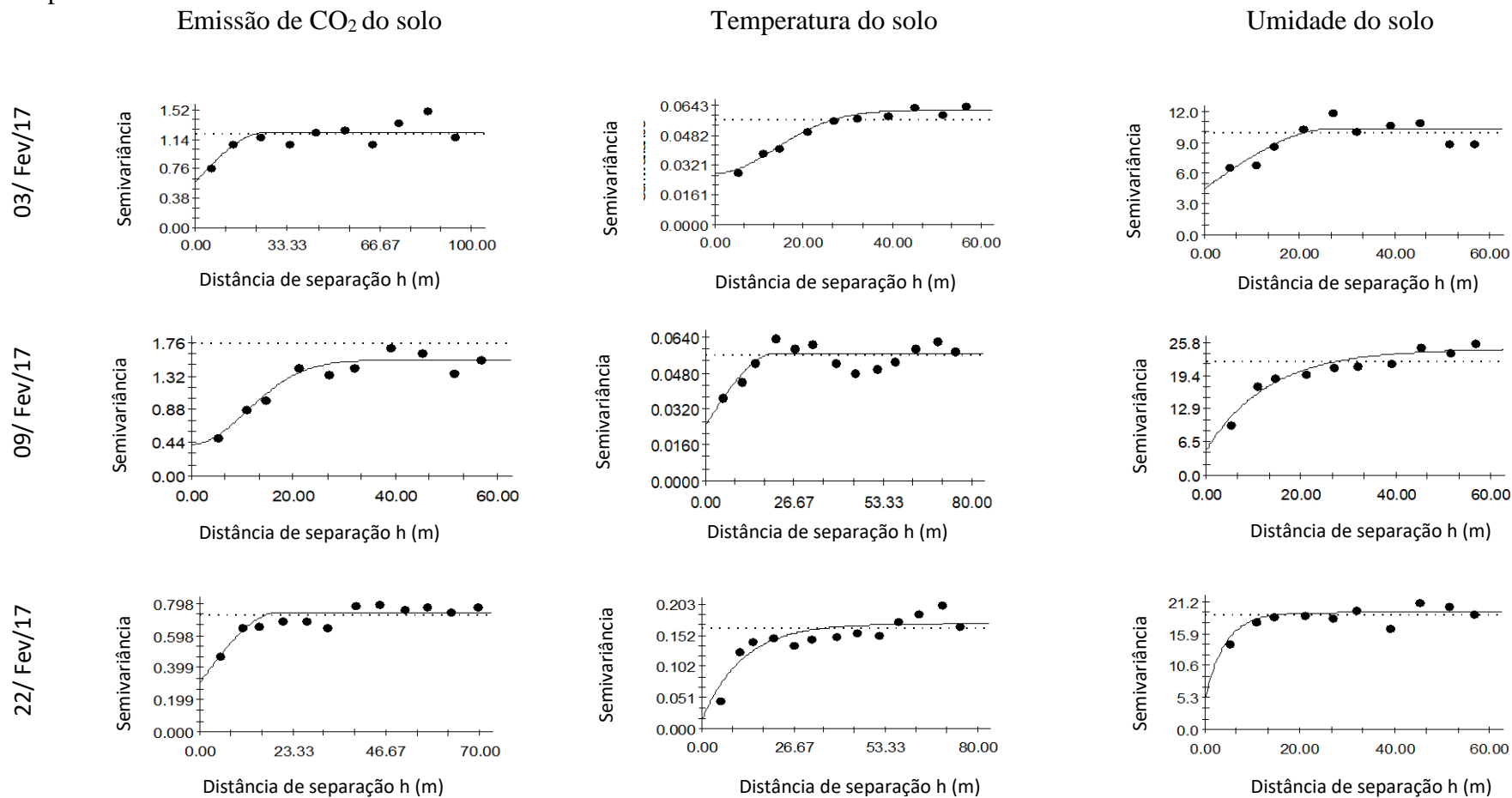
Dias de Avaliação	Silvipastoril							Validação Cruzada*		
	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a (m)	SQR	R ²	GDE	a	b	r ²
Emissão de CO ₂										
03/fev	Esf	0,602	1,231	24,9	0,154	0,56	0,49	0,542	1,51	0,056
09/fev	Gau	0,415	1,535	26,5	0,1	0,92	0,27	0,940	0,38	0,230
22/fev	Esf	0,306	0,744	19,8	0,024	0,74	0,41	0,859	0,71	0,130
03/mar	Exp	0,359	0,891	31,2	0,023	0,81	0,40	0,613	1,75	0,072
08/mar	Esf	0,593	1,383	53,8	0,121	0,86	0,43	0,603	1,71	0,092
17/mar	Exp	0,247	0,793	87,9	0,017	0,92	0,31	0,797	0,91	0,114
03/jun	Esf	0,17	0,381	24,6	0,209	0,53	0,45	0,832	0,55	0,226
10/jun	Exp	0,072	0,16	51	1,33E-03	0,73	0,45	0,663	0,82	0,092
17/jun	Esf	0,162	0,313	29,51	3,78E-03	0,81	0,52	0,425	1,69	0,042
Temperatura do solo										
03/fev	Gau	0,027	0,061	33,4	3,37E-05	0,97	0,44	1,024	-0,65	0,307
09/fev	Esf	0,024	0,056	21	2,74E-04	0,61	0,43	0,485	14,71	0,045
22/fev	Exp	0,013	0,171	35,1	3,68E-03	0,78	0,08	1,016	-0,48	0,442
03/mar	Gau	0,07	0,14	40,7	1,09E-03	0,85	0,50	1,023	-0,66	0,310
08/mar	Exp	0,019	0,114	73,5	5,56E-04	0,91	0,17	0,855	4,11	0,284
17/mar	Esf	0,019	0,063	76,9	1,10E-04	0,94	0,30	0,877	2,89	0,280
03/jun	Exp	0,132	0,332	59,7	5,86E-03	0,82	0,40	0,850	3,06	0,190
10/jun	Exp	0,001	0,636	34,8	0,014	0,94	0,00	0,871	2,51	0,324
17/jun	Exp	0,093	0,238	48,6	2,21E-03	0,85	0,39	1,011	-0,21	0,326
Umidade do solo										
03/fev	Esf	4,52	10,3	26,7	8,54	0,68	0,44	0,676	11,50	0,091
09/fev	Exp	4,84	24,56	39,3	15,1	0,92	0,20	1,025	-0,06	0,171
22/fev	Exp	5,212	19,38	12,6	12,9	0,65	0,27	0,697	6,15	0,053
03/mar	Gau	3,92	11,84	18,7	12,4	0,75	0,33	1,085	-1,38	0,329
08/mar	Gau	0,83	4,99	9,2	1,23	0,67	0,17	0,920	1,93	0,189
17/mar	Exp	0,061	0,222	13,5	4,37E-03	0,56	0,27	0,849	4,53	0,088
03/jun	Exp	0,53	6,5	21	2,55	0,77	0,08	0,811	1,60	0,169
10/jun	Esf	2,07	6,65	23,8	3,27	0,76	0,31	0,821	3,66	0,191
17/jun	Exp	0,76	6,558	22,5	3,08	0,75	0,12	0,810	3,70	0,165
EstC	Esf	2,48	5,523	31,2	0,483	0,93	0,45	1,039	-0,78	0,300
H _{LIFS}	Esf	4060000	13080000	29,9	5,14E+12	0,91	0,31	1,066	-199,70	0,384

GDE grau e dependência espacial; SQR soma do quadrado dos resíduos; Exp exponencial; Gau Gaussiano; Esf esférico; EstC estoque de carbono; H_{LIFS} grau de humificação da matéria orgânica.

*Parâmetros da análise de regressão entre os valores estimados e observados na análise de validação cruzada: a = coeficiente linear, b = coeficiente angular e r² = coeficiente de determinação da validação cruzada.

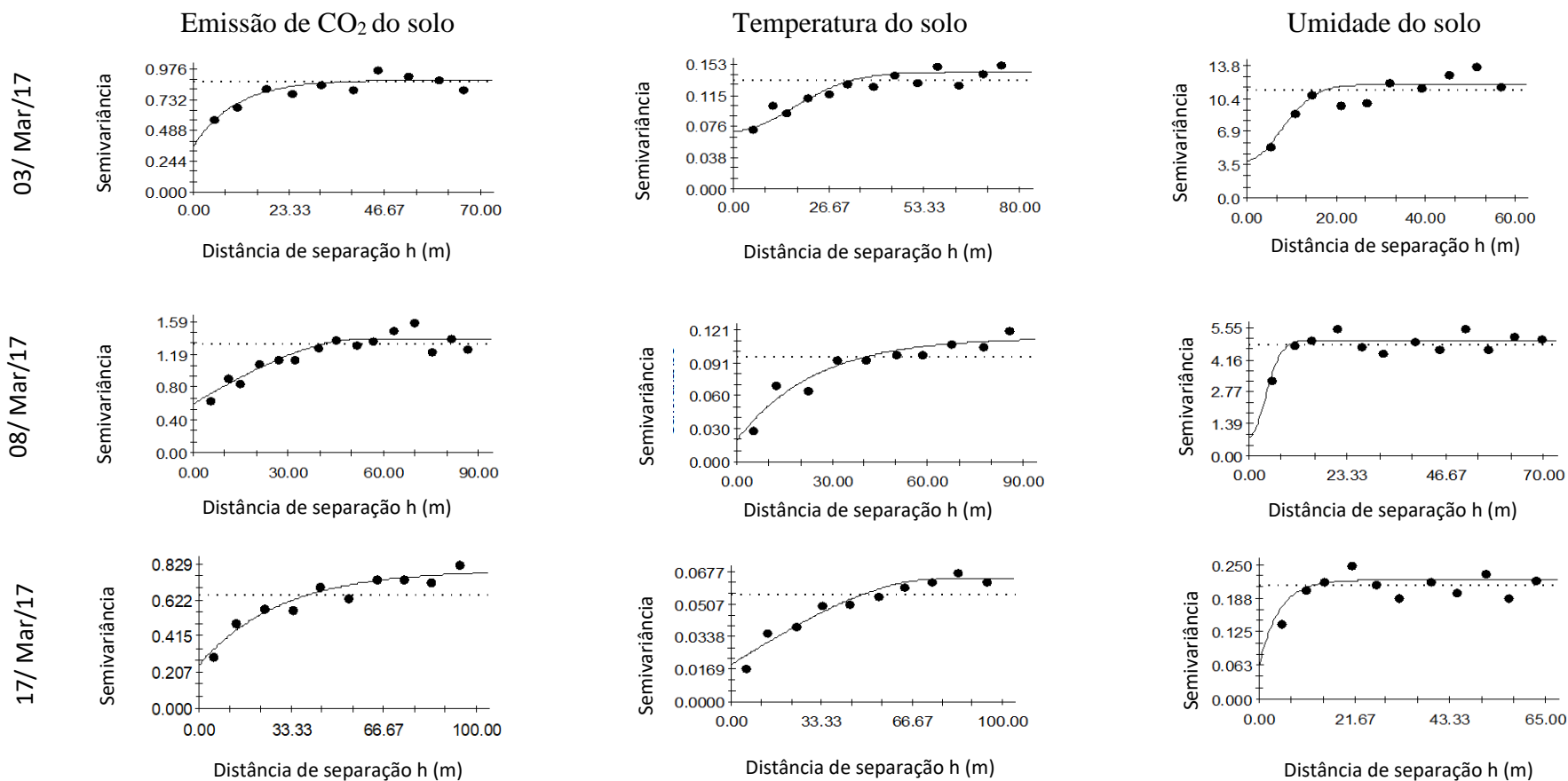
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 8 - Semivariogramas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias 03, 09 e 22 de fevereiro de 2017 na área de sistema silvipastoril.



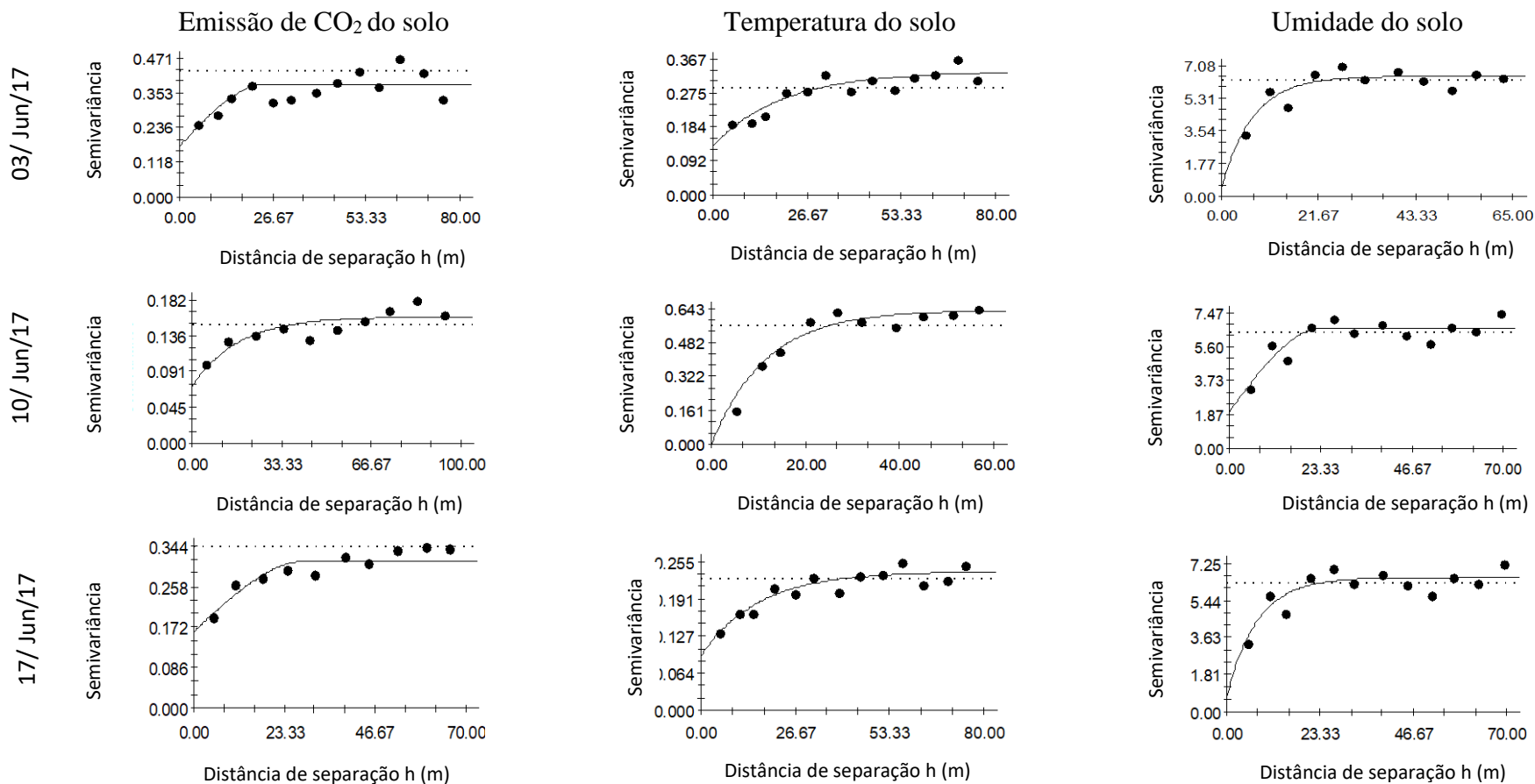
Fonte: Elaboração da própria autora

Figura 9 - Semivariogramas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias 03, 08 e 17 de março de 2017 na área de sistema silvipastoril.



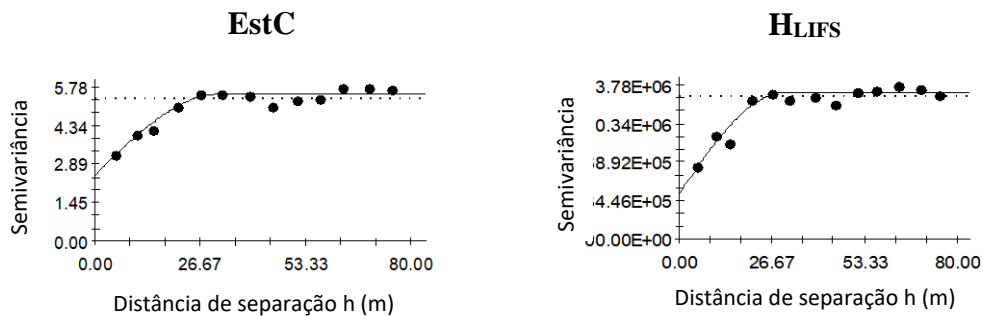
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 10 - Semivariogramas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias 03, 10 e 17 de junho de 2017 na área de sistema silvipastoril.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 11 - Semivariogramas do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H_{LIFS}) no sistema silvipastoril.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os parâmetros dos semivariogramas estimados para FCO_2 , T_{solo} , U_{solo} , EstC e H_{LIFS} para cada um dos dias estudados na área de EU são apresentados na Tabela 6 e Figuras 12, 13 e 14. O modelo de semivariograma ajustado para FCO_2 foram predominantemente exponencial com alcances que variaram de 22,3 m a 60,9 m. Para a T_{solo} os modelos ajustados foram esféricos e gaussianos na sua maioria, apresentando também alcances com valor mínimo de 20,1 m e máximo de 52,5 m. Enquanto que para a U_{solo} , todos modelos ajustados foram esféricos e exponenciais, com valores de alcance (a) encontrados de 15,8 m a 33,6 m. Para o EstC o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial enquanto que para H_{LIFS} foi o gaussiano, com alcances de 17,7 m (EstC) e 96,3 m (H_{LIFS}).

A maioria dos modelos ajustados para as respectivas variáveis estudadas apresentaram altos valores de coeficiente de determinação, que são expressos pelos valores de R^2 do ajuste dos semivariogramas, indicando bons ajustes dos modelos aos semivariogramas experimentais, com exceção do dia 17 de fev que foi observado um valor de R^2 baixo para a umidade (0,41). O grau de dependência espacial (GDE) de FCO_2 , T_{solo} e U_{solo} na área de EU pode ser considerada de forte a moderada para todos os dias avaliados, segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Já o EstC e H_{LIFS} apresentou forte dependência espacial para esta área, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Modelos e estimativas dos parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais para a emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura (°C), umidade do solo (%), estoque de carbono (EstC) e grau de humificação (H_{LIFS}) para os dias analisados, em área de eucalipto no ano de 2017.

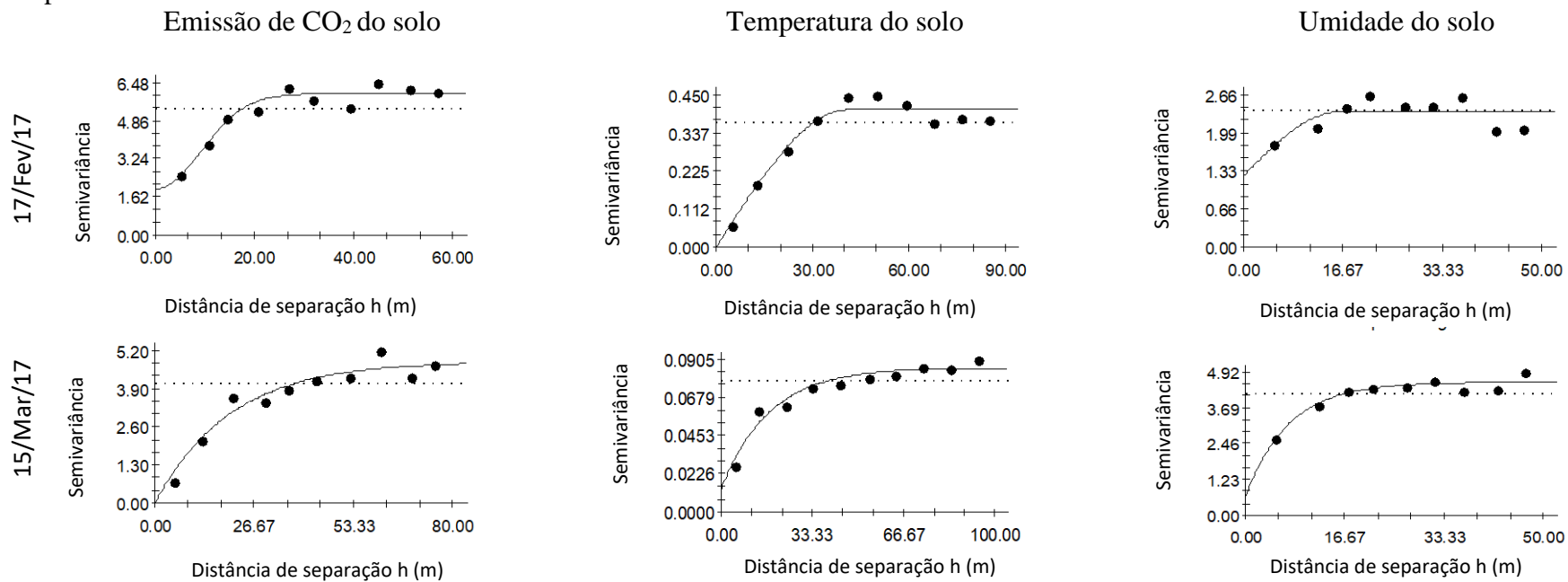
Dias de Avaliação	Eucalipto							Validação Cruzada*		
	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a (m)	SQR	R ²	GDE	a	b	r ²
Emissão de CO ₂										
17/fev	Gau	1,96	6,006	22,3	0,968	0,92	0,33	0,728	1,96	0,173
15/mar	Exp	0,01	4,836	60,9	1,02	0,93	0,00	1,062	-0,25	0,682
03/jun	Esf	0,504	1,412	40	0,038	0,94	0,36	0,739	1,03	0,162
10/jun	Exp	0,264	1,298	45,6	0,034	0,94	0,20	0,847	0,48	0,254
17/jun	Exp	0,952	1,905	34,2	0,054	0,86	0,50	0,725	1,15	0,091
Temperatura do solo										
17/fev	Esf	0,001	0,407	41,3	6,61E-03	0,95	0,00	0,912	2,47	0,545
15/mar	Exp	0,013	0,085	52,5	1,47E-04	0,95	0,15	0,766	6,54	0,180
03/jun	Gau	0,127	0,274	29,1	2,28E-03	0,91	0,46	0,895	2,31	0,274
10/jun	Gau	0,11	0,228	20,1	1,36E-03	0,87	0,48	0,903	2,05	0,231
17/jun	Esf	0,038	0,17	40	6,12E-04	0,95	0,22	1,002	-0,05	0,483
Umidade do solo										
17/fev	Esf	1,25	2,355	15,8	0,419	0,41	0,53	0,279	8,24	0,006
15/mar	Exp	0,66	4,566	21,6	0,283	0,91	0,14	0,758	2,76	0,094
03/jun	Exp	0,15	3,699	17,7	0,335	0,85	0,04	0,522	6,04	0,039
10/jun	Exp	3,114	6,229	33,6	0,834	0,8	0,50	0,688	3,39	0,057
17/jun	Esf	0,656	2,678	22,7	0,413	0,82	0,24	0,277	4,97	0,013
EstC	Exp	1	15,18	17,7	2,82	0,92	0,07	0,657	7,51	0,103
H _{LIFS}	Gau	11800000	59180000	96,3020249	1,77E+14	0,95	0,20	0,920	2922,70	0,502

GDE grau e dependência espacial; SQR soma do quadrado dos resíduos; Exp exponencial; Gau Gaussiano; Esf esférico; EstC estoque de carbono; H_{LIFS} grau de humificação da matéria orgânica.

*Parâmetros da análise de regressão entre os valores estimados e observados na análise de validação cruzada: a = coeficiente linear, b = coeficiente angular e r² = coeficiente de determinação da validação cruzada.

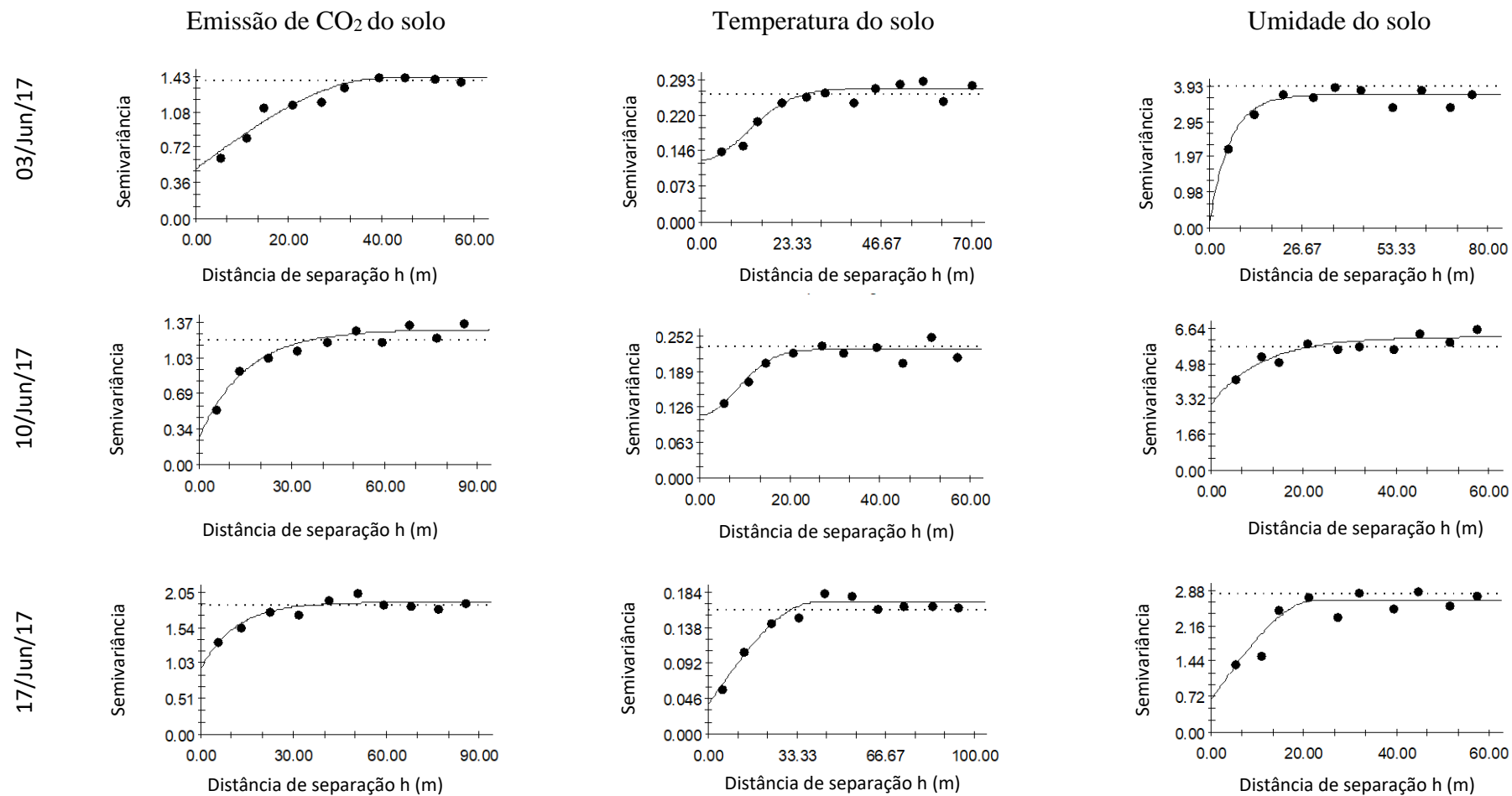
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 12 - Semivariogramas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias 17 de fevereiro e 15 de março de 2017 na área de eucalipto.



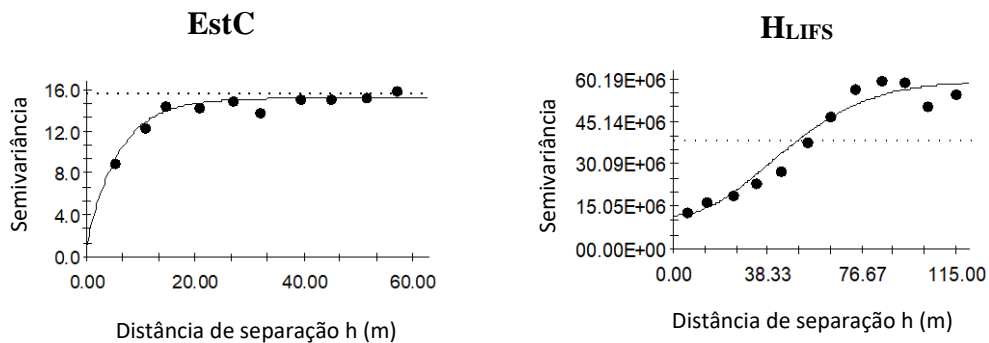
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 13 - Semivariogramas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias nos dias 3, 10 e 17 de junho de 2017 na área de eucalipto.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 14 - Semivariogramas do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H_{LIFS}) na área de eucalipto.



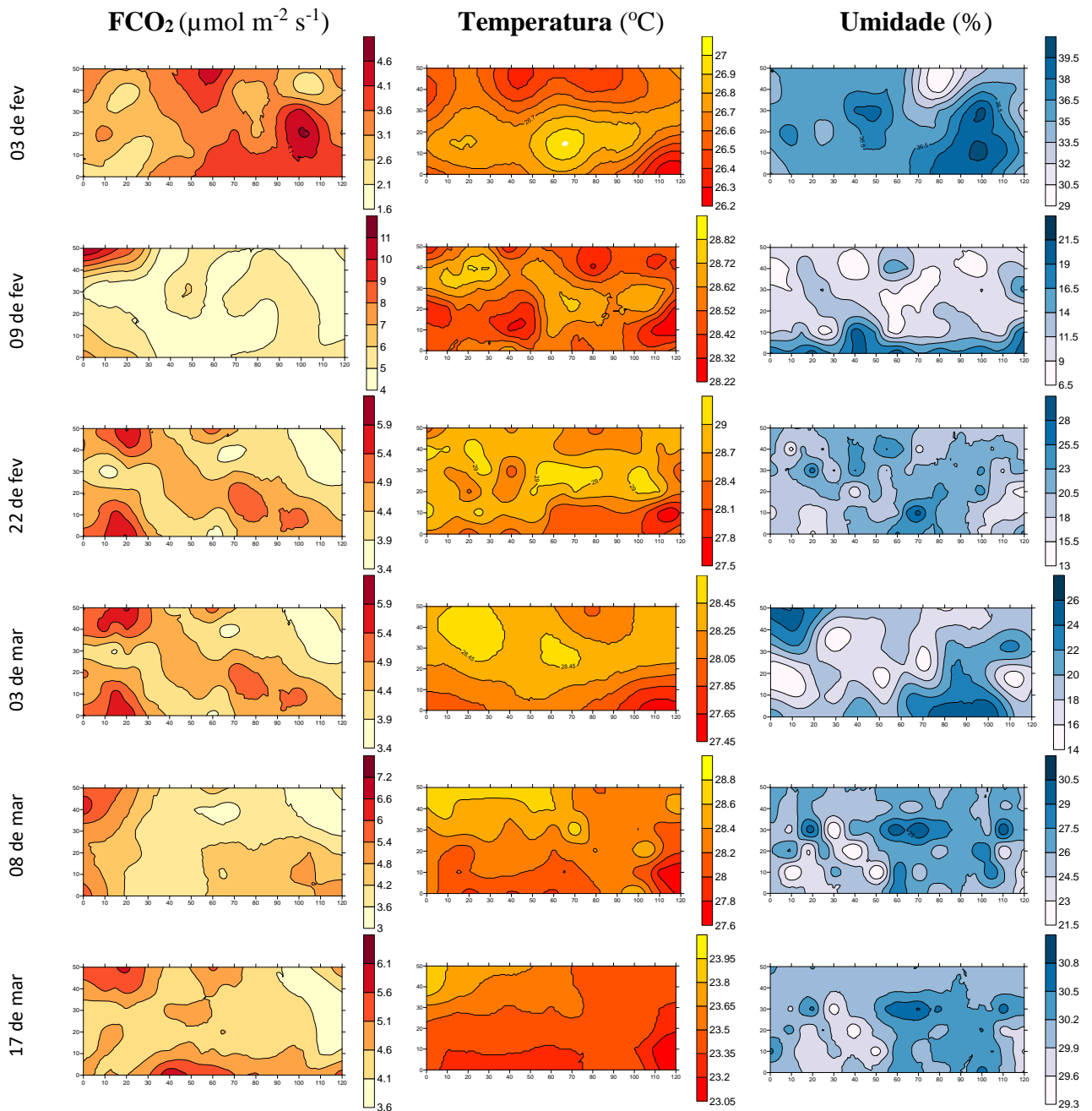
Fonte: Elaboração da própria autora.

Os mapas de krigagem dos parâmetros FCO_2 , T_{solo} , U_{solo} , EstC e H_{LIFS} no SSP são apresentados nas Figuras 15, 16 e 17, já os coeficientes de correlação espacial usados para correlacionar os mapas entre as variáveis estão descritos na Tabela 7. Os mapas de FCO_2 mantiveram um padrão de variabilidade espacial ao longo do tempo nas leituras tanto nos dias relativos ao período chuvoso quanto nos dias correspondentes ao período seco (Figuras 15 e 16). Nota-se que os mapas de U_{solo} nos dias relativos ao período seco possuem um comportamento mais homogêneo no espaço (Figura 16).

Ao considerar a Tabela 7, nota-se a falta de correlação espacial de FCO_2 com a T_{solo} , para os dias avaliados na área de SSP. Porém, é possível observar na estrutura espacial que no dia 03 de fev, houve uma correlação positiva do FCO_2 com a U_{solo} (Figura 15), onde a região de umidade mais elevada é coincidente com a região de maior FCO_2 . Valores de correlação positivos entre a emissão de CO_2 e a umidade do solo são bem comuns na literatura, dada a forte relação entre essas variáveis, onde ocorre a ocupação dos espaços porosos do solo por umidade, resultando na eliminação dos gases do solo (SCHWENDENMANN et al., 2003; BRITO et al., 2010).

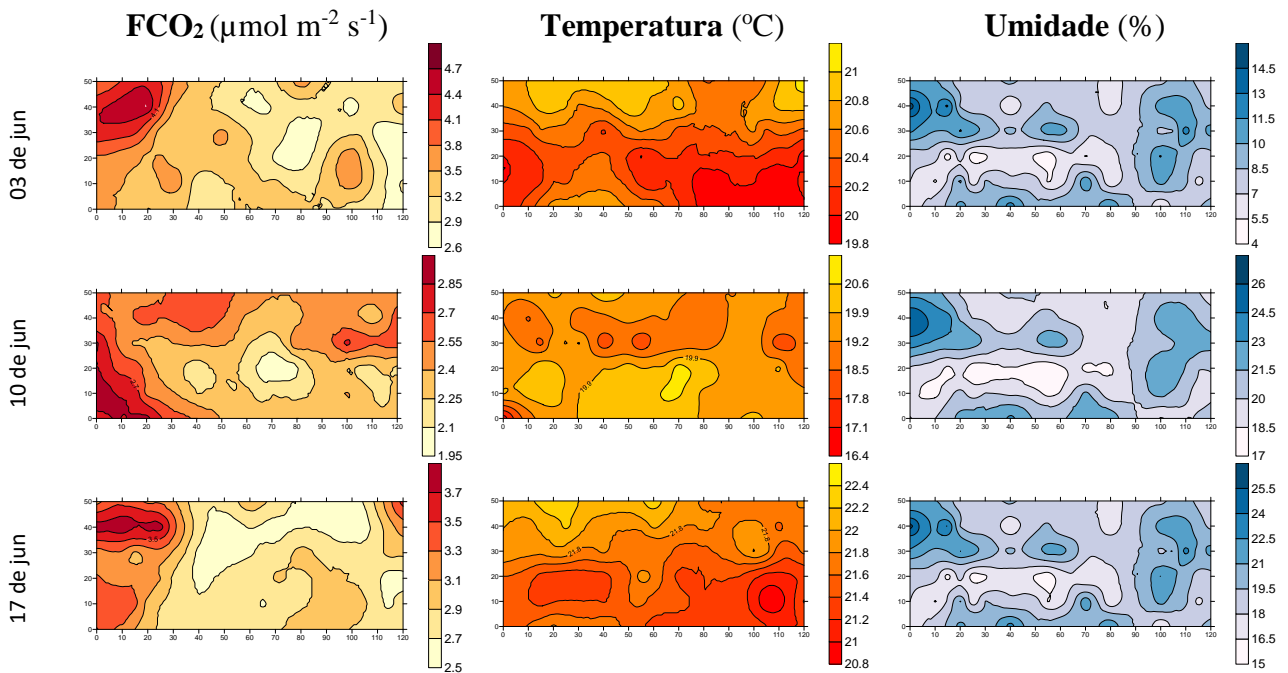
Por outro lado, o FCO_2 apresentou correlação positiva com o EstC e negativa com o H_{LIFS} nos dias 22 de fev, 03 e 08 de mar (Figura 17; Tabela 7), evidenciando que nas regiões onde tem maior FCO_2 são as mesmas onde o carbono estocado é alto e, portanto, um baixo grau de humificação da matéria orgânica. Esses resultados corroboram com os encontrados por Mantovanelli et al. (2016), avaliando a distribuição espacial da emissão de CO_2 e atributos do solo sob campo nativo na região de Humaitá - AM, observaram por meio dos mapas de krigagem que áreas onde ocorrem maior incidência de EstC são as mesmas que o efluxo de CO_2 é maior.

Figura 15 - Mapas do padrão espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período chuvoso no ano de 2017 na área de sistema silvipastoril.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 16 - Mapas do padrão espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período seco no ano de 2017 na área de sistema silvipastoril.



Fonte: Elaboração da própria autora.

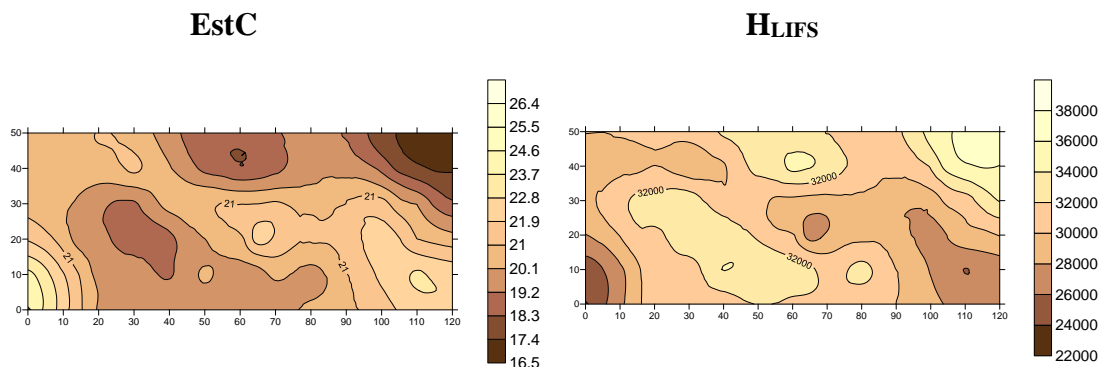
Tabela 7 - Coeficientes de correlação espacial do FCO₂ com a temperatura, umidade, EstC e H_{LIFS} do solo na profundidade de 0,00 – 0,10 m no sistema silvipastoril.

Silvipastoril					
¹ FCO ₂	EstC	H _{LIFS} (u.a.)	Ts	Us	
03/fev	0,28	-0,26	-0,04	0,49*	
09/fev	0,37	-0,40	0,10	-0,10	
22/fev	0,52*	-0,48*	-0,03	-0,10	
03/mar	0,52*	-0,49*	-0,08	0,18	
08/mar	0,65*	-0,63*	0,07	-0,05	
17/mar	0,13	-0,07	0,35	-0,10	
03/jun	0,19	-0,18	0,17	0,35	
10/jun	0,02	-0,10	-0,25	0,20	
17/jun	0,24	-0,24	0,28	0,27	

* Valores de correlação maiores que 0.4 em valor absoluto foram utilizados na interpretação dos resultados.⁽¹⁾Dias de leitura da emissão de CO₂ no Sistema Silvipastoril.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 17 - Mapas do padrão espacial do estoque de carbono (EstC) e grau de humificação do solo (H_{LIFS}) em 2017 na área de sistema silvipastoril.



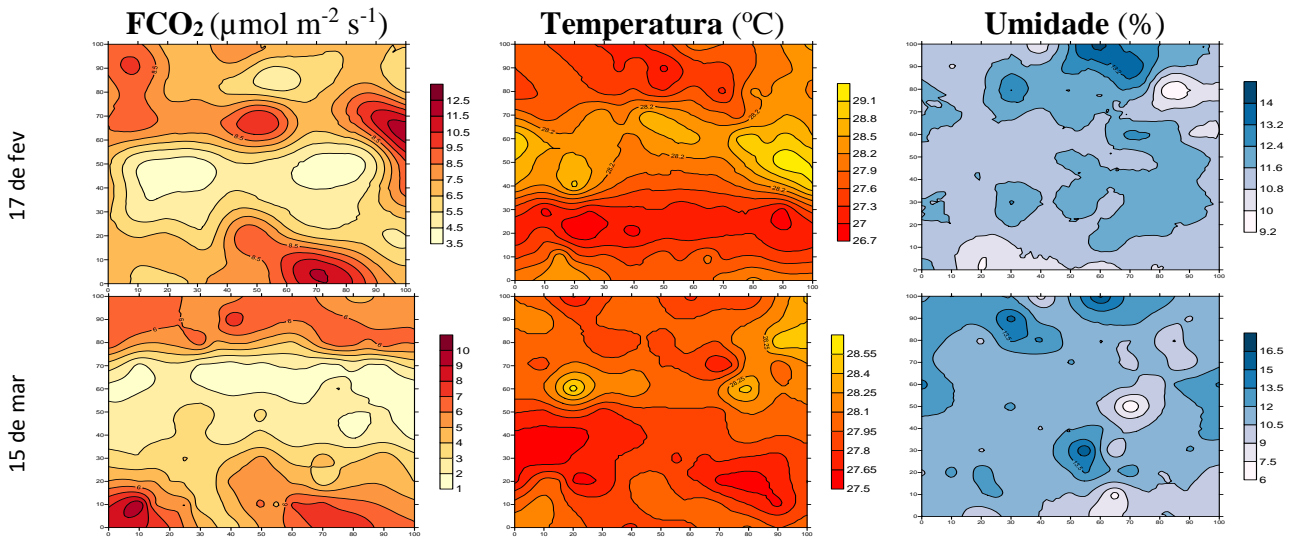
Fonte: Elaboração da própria autora.

Diferentemente do que foi observado para o SSP, na área de EU não houve correlação espacial entre os mapas de FCO_2 e U_{solo} , exceto para T_{solo} nos dias 03 e 17 de jun (Figuras 18, 19 e 20; Tabela 8) que apresentou correlação positiva, caracterizado pela semelhança entre as isolinhas nos mapas, o que indica possível influência desta variável no FCO_2 , podendo estar relacionado com a maior atividade dos microrganismos decompositores presentes no solo da área em questão.

Enquanto que os mapas do FCO_2 se correlacionam positivamente com o EstC e negativamente com o H_{LIFS} (Figura 20; Tabela 8) nos dias 03, 10 e 17 de jun, o mesmo não foi observado para o dia 17 de fev em que houve correlação positiva para EstC mas o H_{LIFS} não apresentou correlação com o FCO_2 .

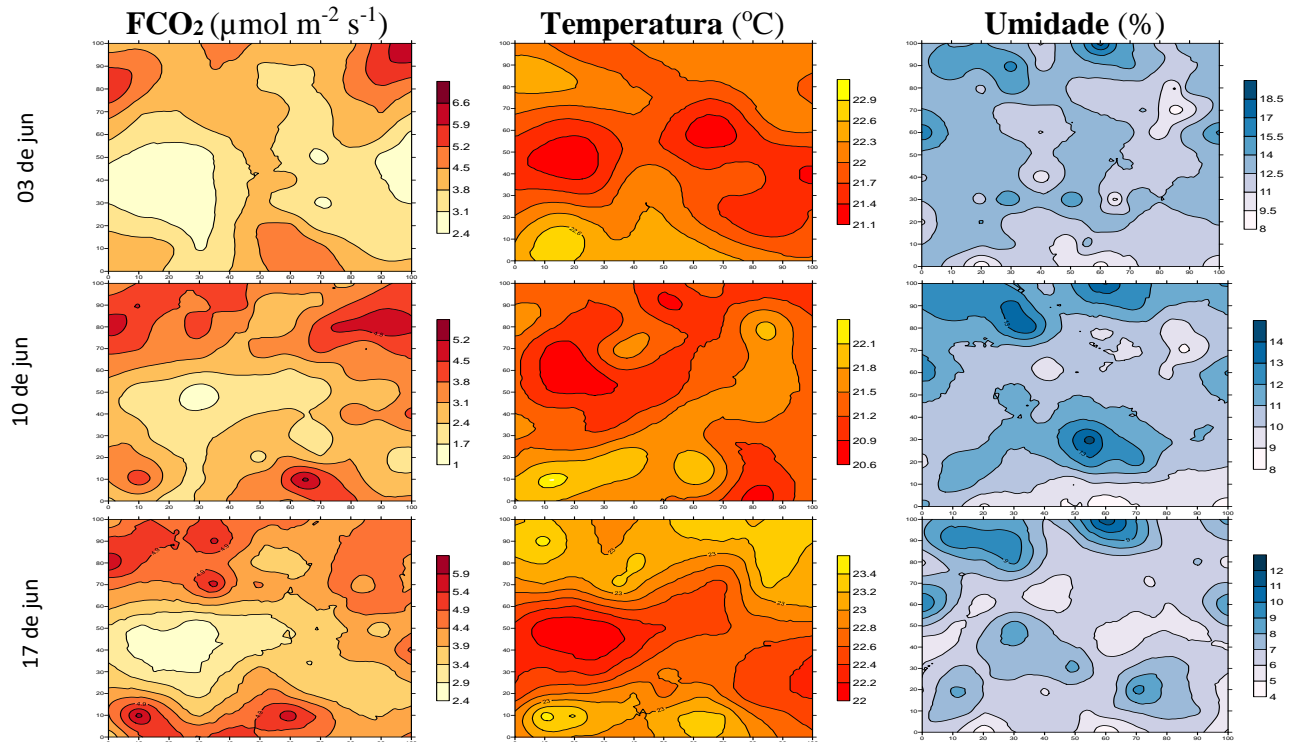
A dificuldade encontrada ao se tentar estabelecer relações diretas entre esses parâmetros e os fluxos de CO_2 é um indício da natureza complexa deste fenômeno (MANTOVANELLI et al., 2016). Vale ressaltar que os mapas de FCO_2 na área de EU mantiveram um padrão de variabilidade espacial ao longo das leituras feitas em ambos os períodos caracterizada por uma faixa central de menor emissão na horizontal na área.

Figura 18 - Mapas do padrão espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período chuvoso no ano de 2017 na área de eucalipto.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 19 - Mapas do padrão espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos dias relativos ao período seco no ano de 2017 na área de eucalipto.



Fonte: Elaboração da própria autora.

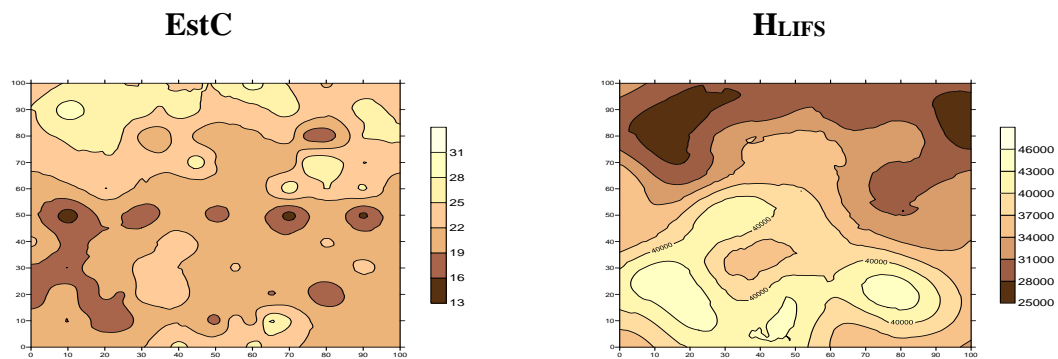
Tabela 8 - Coeficientes de correlação espacial do FCO₂ com a temperatura, umidade, EstC e H_{LIFS} do solo na profundidade de 0,00 – 0,10 m na área de eucalipto.

Eucalipto					
¹ FCO ₂	EstC	H _{LIFS} (u.a.)	T _s	U _s	
17/fev	0,43*	-0,23	0,09	-0,27	
15/mar	0,31	-0,07	0,06	0,06	
03/jun	0,61*	-0,51*	0,59*	-0,03	
10/jun	0,60*	-0,60*	0,12	0,06	
17/jun	0,58*	-0,45*	0,84*	0,16	

* Valores de correlação maiores que 0.4 em valor absoluto foram utilizados na interpretação dos resultados. ⁽¹⁾Dias de leitura da emissão de CO₂ na área de eucalipto.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 20 - Mapas do padrão espacial do estoque de carbono e grau de humificação do solo em 2017 na área de eucalipto.



Fonte: Elaboração da própria autora.

5 CONCLUSÃO

1. No sistema silvipastoril foi observado uma menor média de emissão de CO₂ (2,56 μmol m⁻² s⁻¹), menor estoque de carbono (20,26 Mg ha⁻¹) e menor grau de humificação da matéria orgânica (30853,08 u.a.), além de apresentar melhores características físicas, em relação a floresta plantada de eucalipto. Os maiores valores de emissão de CO₂ do solo foram observados no período de chuva, nas áreas estudadas, em comparação com o período seco. Já, os maiores alcances para essa variável foram observados no sistema silvipastoril (87,9 m), indicando maior dependência espacial e maior continuidade espacial para esse sistema, quando comparado ao eucalipto. A correlação espacial negativa que a emissão de CO₂ do solo e o grau de humificação da matéria orgânica do solo apresentaram sugere que matéria orgânica humificada não foi a principal fonte de carbono para a atividade microbiana do solo, resultando em perda de carbono via emissão de CO₂ do solo. Por outro lado, a emissão de CO₂ do solo apresentou correlação espacial significativa com o estoque de carbono do solo. O uso de sistemas integrados, como sistemas silvipastoris, favorece a manutenção do carbono no solo, constituindo um papel importante nos processos de mitigação do GEE.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Oficinas Tipográficas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.
- ARIAS-NAVARRO, C.; DÍAZ-PINÉS, E.; BRANDT, P.; RUFINO, M. C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; VERCHOT, L. V. Spatial variability of soil N₂O and CO₂ fluxes in different topographic positions in a tropical montane forest in Kenya. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, Washington, v. 122, n. 3, p. 514–527, 2017.
- BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PANOSSO, A. R.; CAMARGO, L. A.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B.; LA SCALA, N. Field-scale spatial correlation between contents of iron oxides and CO₂ emission in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 2, p. 103-193, 2015.
- BALBINO, L. C.; MACHADO, L. A. Z.; CECCON G. **Integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF): Região Sul**. Brasília: EMBRAPA, 2012. 83 f.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, n. 6, p. 1014-1026, 2011.
- BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p.29-39, 1999.
- BASARIR, H.; KUMRAL, M.; KARPUZ, C.; TUTLUOGLU, L. Geostatistical modeling of spatial variability of SPT data for a borax stockpile site. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 114, n. 3-4, p. 154-163, 2010.
- 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.
- BICALHO, E. S.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; SPOKAS, K. A.; LA SCALA, N. Soil greenhouse gases: relations to soil attributes in a sugarcane production area. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 81, n. 5, p. 1168-1178, 2017.
- BIEDERMAN, J. A.; SCOTT, R. L.; BELL, T. W.; BOWLING, D. R.; DORE, S.; GARATUZA-PAYAN, J.; KOLB, T. E.; KRISHNAN, P.; KROFCHECK, D. J.; LITVAK, M. E.; MAURER, G. E.; MEYERS, T. P.; OECHEL, W. C.; PAPUGA, S. A.; PONCE-CAMPOS, G. E.; RODRIGUEZ, J. C.; SMITH, W. K.; VARGAS, R.; WATTS, C. J.; YEPEZ, E. A.; GOULDEN, M. L. CO₂ exchange and evapotranspiration across dryland ecosystems of southwestern North America. **Global Change Biology**, Oxford, v. 23, n. 10, p. 4204–4221, 2017.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2 ed. Brasília: [s.n.], 2014. 190 p.

BRITO, L. F.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77–83, 2009.

BRITO, L. F.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in different topographic positions. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 19-27, 2010. Suplemento.

BROWN, S.; SWINGLAND, I.R.; HANBURY-TENISON, R.; PRANCE, G.T.; MYERS, N. Changes in the use and management of forests for abating carbono emissions: issues and challenges under the Kyoto Protocol. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 360, n. 15, p. 1593-1605, 2002. (Series A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences).

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMBUIM, J. **Sistema silvipastoril com *Myracrodruon urundeuva* fr. all. como alternativa de sustentabilidade**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP, Ilha Solteira, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, D. A. P.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M.; SILVA, D. M. P. Distribuição espacial do efluxo de CO₂ em área de terra preta arqueológica sob cultivo de cacau e café no município de Apuí, AM, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté v. 11, n. 4, p. 788-798, 2016.

CARBONELL-BOJOLLO, R. M.; REPULLO-RUIBÉRRIZ, M. A.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Influence of soil and climate conditions on CO₂ emissions from agricultural soils. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 223, n. 6, p. 3425–3435, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186, 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, MG, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin American. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. D.; CERRI, C. E. P. (Eds.). **Carbon sequestration in soils of Latin American**. New York: The Haworth Press, 2006. v. 1, p.41-47.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical Agriculture and global warming impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n.1, p. 83-89, 2007.

CERRI, C. C. **Práticas de gestão para redução da emissão de gases de efeito estufa e remoção de carbono na agricultura, pecuária e engenharia florestal brasileira.** Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2009. p. 1-28. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-496.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CHAPLOT, V.; VOLKOFF, B.; VICTORIA, R. L.; MELILLO, J. M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 51-68, 2004.

CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de calcário a taxas variáveis.** 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz- ESALQ, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2001.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA- CIB. **Guia do eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável,** 2008. 20 p. Disponível em: <http://cib.org.br/wpcontent/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORRÊA, A. R.; MONTANARI, R.; LAURA, V. A.; MELOTTO, A. M.; SILVA, E. N. S. D.; PELLIN, D. M. P.; SANTOS, A. S. D. Aspects of the silvopastoral system correlated with properties of a typic quartzipsamment (entisol) in Mato Grosso do Sul, BRAZIL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 438–447, 2015.

CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; GAIO, D. C.; SOUZA, Z. M.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; SIMÕES, E. L. Spatial variability of soil respiration in Archaeological Dark Earth areas in the Amazon. **Catena**, Amsterdam, v. 162, p. 148–156, 2018.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; SILVA, C. A. Variabilidade espacial do fluxo de CO₂ do solo em povoamento de eucalipto. **Floresta**, Curitiba, v. 41, p. 407-422, 2011.

DASSELAAR, A. V. P. V.; CORRÉ, W. J.; PRIEMÉ, A.; KLEMEDTSSON, Å. K.; DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia.** 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Solos)- Escola Superior Luiz de Queiroz- ESALQ, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2006.

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.

DOMINY, C. S.; HAYNES, R. J.; van ANTWERPN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 5, p. 350-356, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento / EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p.

EPRON, D.; BOSCH, 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. M.; 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. 1-3, p. 149-160, 2004.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 205, n. 2, p. 135-146, 1998.

FARIA, G. **Estudo comprova a mitigação de gases de efeito estufa pela ILPF**: Portal Dia de Campo: informação que produz. Embrapa Agrossilvipastoril. Sinop: [s.n.], 2015. Disponível em <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=31170&secao=Agrotomas&c2=Integra%E7%E3o%20Lavoura%20Pecu%E1ria>. Acesso em: 15 abr. 2018.

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; BORDONAL, R. O.; TEIXEIRA, D. B.; BERCHIELLI, T. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂-C emissions and correlations with soil properties in degraded and managed pastures in southern Brazil. **Land Degradation & Development**, Nova Jersey, v. 28, n. 4, p. 1263–1273, 2017.

FRANK, A. B.; LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L. Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 78-85, 2006.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dendê no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, p. 193-207, 2002.

GONZÁLEZ-REAL, M. M.; EGEE, G.; MARTIN-GORRIZ, B.; NORTES, P. A.; BAILLE, A. Spatial variability of soil CO₂ efflux in drip-irrigated old and young citrus orchards and its dependence on biotic and abiotic factors. **Geoderma**, Amsterdam, v. 294, p. 29–37, 2017.

GOUTAL, N.; PARENT, F.; BONNAUD, P.; DEMAISON, J.; NOURISSON, G.; EPRON, D.; RANGER, J. Soil CO₂ concentration and efflux as affected by heavy traffic in forest in northeast France. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 63, n. 2, p. 261-271, 2012.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, London, v. 92, n. 2, p. 189-202, 2004.

GRAF, A.; HERBST, M.; WEIHERMULLER, 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.

HERBST, M., BORNEMANN, L., GRAF, A.; VEREECKEN, H.; AMELUNG, W. A geostatistical approach to the field-scale pattern of heterotrophic soil CO₂ emission using covariates. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 111, n. 1, p. 377–392, 2012.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 273-283. 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ**. Brasília: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Geneva; IPCC, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **Climate change 2014: climate change 2014: Geneva: IPCC, 2014. 151 p. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.**

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. Nova York: Oxford University Press. 1989. 561 p.

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**, Chichester, v. 9, n. 10, p. 1427-1437, 2003.

KEMMITT, S. J.; LANYON, C. V.; WAITE, I. S., WEN, Q.; ADDISCOTT, T. M.; BIRD, N. R. A.; O'DONNELL, A. G.; BROOKES, P. C. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – a new perspective. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 61–73, 2008.

KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, P. Benefícios da ILP para a pecuária e desafios no cultivo de grandes culturas em sistemas ILPF no Cerrado com uso de plantio direto na palha. In: SANTOS, L. F. T.; MENDES, L. R.; DUARTE, E. R.; GLÓRIA, J. R.; ANDRADE, J. M.; CARVALHO, L. R.; SALES, N.L.P. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: potencialidades e técnicas de produção**. Montes Claros; Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, 2012. p.21-35.

KONDA, R.; OHTA, S.; ISHIZUKA, S.; ARAI, S.; ANSORI, S.; TANAKA, N.; HARDJONO, A. Spatial structures of N₂O, CO₂, and CH₄ fluxes from *Acacia mangium* plantation soils during a relatively dry season in Indonesia. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 3021-3030, 2008.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; ITOH, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSUO, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.147, n. 1-2, p.35-47, 2007.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 425–448, 2006.

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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1–2, p. 244–248, 2006.

LA SCALA, 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.

LA SCALA, N.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Carbon dioxide emission related to chemical properties of a tropical bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 10, p. 1469-1473, 2000a.

LA SCALA, N.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 10, p. 1459-1462, 2000b.

LA SCALA, N.; MENDONÇA, E. S.; SOUZA, J. V. S; PANOSSO, A. R.; SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Spatial and temporal variability in soil CO₂-C emissions and relation to soil temperature at King George Island, maritime Antarctica. **Polar Science**, Tokyo, v. 4, n. 3, p. 479-487, 2010.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 158–169, 2009.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 1-2, p. 81-107, 1997.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, n. 1-2, p. 1623-1626, 2004.

LATHUILLIÈRE, M. J.; PINTO JÚNIOR, O. B.; JOHNSON, M. S.; JASSAL, R. S.; DALMAGRO, H. J.; LEITE, N. K.; SPERATTI, A. B.; KRAMPE, D.; COUTO, EDUARDO G. Soil CO₂ concentrations and efflux dynamics of a tree island in the Pantanal wetland. **Journal of Geophysical Research-Biogeosciences**, Washington, v. 122, n. 8, p. 2154-2169, 2017.

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 & Biochemistry**, Oxford, v. 77, p. 12-21, 2014.

- MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, P. C. S.; SILVA, D. A. P. S.; CUNHA, J. M. C.; SILVA, D. M. P.; SOARES, M. D. R. Distribuição espacial da emissão de CO₂ e atributos do solo sob campo nativo na região de Humaitá, Amazonas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 273-284, 2016.
- MEDEIROS, J. C.; SILVA, A. P.; CERRI, C. E. P.; FRACETTO, F. J. C. Linking physical quality and CO₂ emission under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 338, n. 1-2, p. 5-15, 2011.
- MENDONÇA, E. S.; LA SCALA, N., PANOSSO, A. R.; SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. **Antarctic Science**, Cambridge, v. 23, n. 1, p. 27-33, 2010.
- 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**, Madison, v. 70, n. 1, p. 57-63, 2006.
- MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Efeito do preparo do solo e resíduos da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1720–1728, 2013.
- 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, n. 1, p. 127–132, 2015.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n. 1, p. 69-77, 2005.
- MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1811–1822, 2010.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.
- OERTEL, C.; MATSCHULLA, J.; ZURBAA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils – A review. **Chemie der Erde – Geochemistry**, Muenchen, v. 76, n. 3, p. 327–352, 2016.
- 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, p. 531-540, 2005.
- OHASHI, M.; GYOKUSEN, K. Temporal change in spatial variability of soil respiration on a slope of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 5, p. 1130-1138, 2007.

ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL BOJOLLO, R.; GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, P.; PEREA TORRES, F. Influencia de la climatología y el manejo del suelo em las emisiones de CO₂ em um suelo arcilloso de la veja Carmona. **Revista de Estudios Locales**, Carmona, v. 6, n. 6, p. 2339–2354, 2008.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 190-196, 2011.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 227–236, 2008.

PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; FERRAUDO, A. S.; PEREIRA, G. T.; MIRANDA, J. G. V.; LA SCALA JÚNIOR, N. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in a mechanically harvested sugarcane production area. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 8-16, 2012.

PANOSSO, A.R.; RIBEIRO, C.E.R.; ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA, N. Spatial variability of CO₂ emission, temperature and moisture of a bare oxisol submitted to different wetting levels. **Semina-Ciencias Agrarias**, v. 30, n. 4, p. 1017-1033, 2009.

PIVETTA, M. Extremos do clima. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, v. 16, n. 21, p. 1-6, 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/08/13/extremos-do-clima/>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. **R foundation for statistical computing**. Vienna: [s.n.], 2017. ISBN 3-900051-07-0, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

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

RAKOTOVAO, N. H.; RAZAFIMBELOA, T. M.; RAKOTOSAMIMANANAB, S.; RANDRIANASOLOC, Z.; RANDRIAMALALAD, J. R.; ALBRECHTE, A. Carbon foot print of small holder farms in Central Madagascar: The integration of agroecological practices. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 140, n. 3, p. 1165–1175, 2017.

RAYMENT, M. B.; JARVIS, P. G. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 35-45, 2000.

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**, Dordrecht, v. 268, n. 1-2, p. 21-33, 2005.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, Washington, v. 289, n. 5486, p. 1922-1925, 2000.

RUBIO, V. E.; DETTO, M. Spatiotemporal variability of soil respiration in a seasonal tropical forest. **Ecology and Evolution**, Australia, v. 7, n. 17, p. 7104–7116, 2017.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, New York, v. 98, p. 102–112, 2017.

SAIZ, G.; GREEN, C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R.; AVITABILE, V.; FARRELL, E. P. Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 287, n. 1-2, p. 161-176, 2006.

SANTOS, D.; SOUZA, E. G. DE; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 843-848, 2012.

SANTOS, H.G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SARTORI, F.; LAL, R.; EBINGER, M. H.; PARRISH, D. J. Potential soil carbono sequestration and CO₂ offset by dedicated energy crops in the U.S.A. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 25, n. 5, p. 441-472, 2006.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, n. 1, p. 111-128, 2003.

SCOLFORO, J. R. S.; FERRAZ FILHO, A. C. A expansão florestal brasileira. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FITOPATOLOGIA. **Patologia florestal: desafios e perspectivas**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2013. p. 19-34.

SILVA, J. M. **Avaliação da variabilidade genética em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. para fins de conservação e melhoramento genético**. 2010. 155 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”- UNESP, Ilha Solteira, 2010.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

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

SILVER, W. L.; KUEPPERS, L. M.; LUGO, A. E.; OSTERTAG, R.; MATZEK, V. Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture. **Ecological Applications**, Califórnia, v. 14, n. 4, p. 1115–1127, 2004.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. D. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2011.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 555–569, 2006.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam v. 28, n. 3, p. 247–257, 2005.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, n. 1–4, p. 6–28, 2007.

SOE, A. R. B.; 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.

SONG, Z.; YUAN, H.; KIMBERLEY, M. O.; JIANG, H.; ZHOU, G.; WANG, H. Soil CO₂ flux dynamics in the two main plantation forest types in subtropical China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 444, n. 1, p. 363-368, 2013.

SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E.; GUIMARÃES, B. R.; PAIXÃO, R. K.; RUIVO, M. L. P.; ALMEIDA, S. S. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuana, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 237, n. 1–3, p. 57–64, 2006.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 133-139, 2003.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

TEDESCHI, V.; REY, A.; MANCA, G.; VALENTINI, R.; JARVIS, P. G.; BORGHETTI, M. Soil respiration in a Mediterranean oak forest at different developmental stages after coppicing. **Global Change Biology**, Chichester, v. 12, n. 1, p. 110-121, 2006.

TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JÚNIOR, N. Soil CO₂ emissions estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, n. 1-2, p. 187-194, 2011.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; CERRI, C. E. P.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Quantification of uncertainties associated with space-time estimates of short-term soil CO₂ emissions in a sugar cane area. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 167, p. 33-37, 2013.

TERÇARIOL, M. C.; BRANCAGLIONI, V. A.; JÚNIOR, J. P. A.; MONTANARI, R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BOLONHEZI, A. C., LA SCALA, N.; CHAVARETTE, F. R.; PANOSSO, A. R. Spatial variability of soil CO₂ emission in soybean and sugarcane areas in mato Grosso Do Sul Cerrado, Brazil. **Journal of Geospatial Modelling**, Maranhão, v. 2, n. 1, p. 44-66, 2016.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

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

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.

VARELLA, R. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KISSELLE, K. W.; SANTOS, R. V.; BURKE, R. A.; ZEPP, R. G.; VIANA, L. T. Soil fluxes of CO₂, CO, NO and N₂O an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 14, n. 4, p. 221–231, 2004.

VARGAS, V. P.; CANTARELLA, H.; MARTINS, A. A.; SOARES, J. R.; CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A. Sugarcane crop residue increases N₂O and CO₂ emissions under high soil moisture conditions. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 174–179, 2014.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo, In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

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, n. 1–2, p. 288–295, 2015.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of Soil Physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WESLIEN, P.; STEIN, A.; KLEMEDTSSON; L.; OENEMA, O. Spatial variability of methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from drained grassland. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 62, n. 33, p. 810-817, 1998.

XU, M.; QI, Y. Soil surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 667-677, 2001.