

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Jaqueline de Cássia de Oliveira

**Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros
fisiológicos em sistema silvipastoril**

Montes Claros

2019

Jaqueline de Cássia de Oliveira

Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Leidivan Almeida Frazão

Coorientador: Alcinei Místico Azevedo

Montes Claros
Agosto de 2019

O48v Oliveira, Jaqueline de Cássia de.
2019

Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril/ Jaqueline de Cássia de Oliveira. Montes Claros: ICA/UFMG, 2019.
64 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Leidivan Almeida Frazão.

Banca examinadora: Maria das Dores Magalhães Veloso, Jatnel Alonso Lazo, Rodinei Facco Pegoraro, Leidivan Almeida Frazão, Alcinei Místico Azevedo.

Inclui referências.

1. Solos – Teor de carbono. 2. Solos -- Amonstragem. 3. Plantas -- Assimilação. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.4

Jaqueline de Cássia de Oliveira

Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profa. Dra. Maria das Dores Magalhães Veloso
UNIMONTES

Prof. Dr. Jatnel Alonso Lazo
INSTITUTO DE CIÊNCIA ANIMAL- CUBA

Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro
ICA-UFMG

Prof. Dr. Alcinei Místico de Azevedo
Coorientador ICA-UFMG



Profa. Dra. Leidivan Almeida Frazão
Orientadora ICA-UFMG

Montes Claros, 8 de agosto de 2019

Dedico esta conquista aos meus pais José Edvaldo de Oliveira e Lindaura Veloso Cardoso que, apesar das dificuldades, nunca permitiram que eu desistisse, sendo sempre o meu incentivo e inspiração. Aos meus irmãos, Liliane e Mauro e à minha cunhada Késsia que sempre me apoiaram. À minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado me dando forças, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem Ele nada nesta vida seria possível, nem faria sentido, Ele que sempre me deu forças para que este trabalho se tornasse realidade. À Virgem Maria que sempre se mostrou minha fiel intercessora nos momentos mais difíceis.

À minha família, que sempre me apoiou com todo o carinho e, nos momentos mais difíceis, foi minha salvação, especialmente, a meus pais Edvaldo e Lindaura, a meus irmãos Liliane, Mauro, Késsia, meus avós Vicente, Herminda e Diolina.

Aos meus tios, primos, afilhados, sobrinhos, primas irmãs (Cris, Kátia, Arih, Cássia, Jéh, Val, Zeza, Sol e Aline) que sempre me apoiaram, em especial, à tia Bete que sempre esteve em oração para que este desafio fosse finalizado.

Aos meus amigos que estiveram sempre ao meu lado, especialmente, à Cynthia que sempre ouviu meus desabafos e medos. E aos irmãos da Comunidade Católica Divina Misericórdia por todo o apoio espiritual no último ano.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Leidivan e ao Prof. Dr. Alcinei por toda a paciência, compreensão, empenho e conhecimento partilhado e dedicado à minha formação profissional e pessoal durante a execução desta pesquisa.

À Profa. Dra. Ma das Dores que sempre me incentivou.

Aos meus colegas do Grupo de estudo ILPF, especialmente, à Juliana, Igor, Paula, Guga, Rafael, Ana, Iandra, Sávio, Elora, Deivison, Mariana, Paulo, Gabriel, Deborah.

Aos colegas do mestrado, Ana Clara, Jeferson, Márcia e Betania. Obrigada por terem tornado esta caminhada mais tranqüila, por todo o auxílio no campo, no laboratório, por terem partilhado deste sonho comigo.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG, por possibilitar a realização desta pós-graduação.

Aos professores da banca examinadora, pela participação e por todas as contribuições prestadas.

A todos os professores do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFMG, pelos ensinamentos compartilhados.

Ao Álvaro pelo empréstimo da área para a realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES/Brasil, pela concessão de bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Às pessoas que de alguma forma me ajudaram a realizar este sonho, seja com uma palavra, um sorriso, uma crítica, um conselho, mas que fizeram a diferença em minha vida. Deus abençoe cada um de vocês!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Obrigada!

“Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa”.

(Isaías 41,10)

Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril

RESUMO

Para uma correta avaliação da dinâmica do carbono orgânico no sistema solo-planta, é necessário aperfeiçoar as metodologias de coleta, em função de sua variabilidade espacial. Assim, objetivou-se propor uma metodologia de amostragem, considerando a variabilidade espacial do carbono orgânico do solo e para parâmetros fisiológicos, em um sistema silvipastoril implantado na região Norte de Minas Gerais. As coletas foram realizadas, em janeiro de 2018, em um sistema silvipastoril com arranjo de renques duplos (com *E. urograndis* plantado em espaçamento 3 x 2m) e aleias (cultivadas com *B. brizanta* cv. Marandu) em espaçamento de 14m entre renques. Foram casualizadas quatro transectos de amostragem dentro do sistema (com área útil de 844m²) e retiradas amostras, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, linearmente, entre os dois renques, totalizando 20 pontos de amostragem. Cada transecto foi dividido em lado A (renque esquerdo e lado esquerdo da aleia) e lado B (renque direito e lado direito da aleia), ambos com 10 metros de comprimento. Dentro das aleias, foram realizadas as avaliações fisiológicas, nas plantas de capim-marandu, com uso do analisador de gás por infravermelho (IRGA) e determinadas a condutância estomática (Gs), a taxa transpiratória (E) e taxa de assimilação de dióxido de carbono (CO₂) ou taxa fotossintética (A). Para identificar a melhor estratégia de amostragem, para futuros experimentos em sistema silvipastoril, utilizaram-se o método da máxima curvatura modificado e o método de Hatheway. De acordo com o método da máxima curvatura modificado, para a análise do COT, a amostragem deve ser realizada em sete pontos (quatro amostras no renque e três na aleia). Já para o Cmic do solo, em sistema silvipastoril, a amostragem deve ser realizada em 11 pontos de amostragem (quatro pontos aleatórios na aleia e seis pontos nos renques). As amostragens, para os parâmetros fisiológicos do capim-marandu dentro do sistema silvipastoril, devem ser compostas por coletas em 13 pontos aleatórios dentro da área (aleia). Utilizando o método de Hatheway, pela variabilidade espacial do sistema silvipastoril, não é recomendada a instalação de experimentos com alta precisão (DMS próximo a 20%), uma vez que há necessidade do aumento do número de amostras coletadas em virtude das altas estimativas de coeficientes de variação. Assim, considerando um experimento em DBC, com cinco tratamentos e quatro repetições, com oito amostragens na aleia e três no renque, é possível distinguir tratamentos com DMS inferiores a 23% para COT e 71% para Cmic, enquanto 23 avaliações com IRGA dentro da parcela possibilita a distinção de tratamentos com DMS inferiores a 80% para os parâmetros fisiológicos estimados.

Palavras-chave: Amostragem do solo. Carbono microbiano. Método da máxima curvatura modificado. Método de Hatheway.

Spatial variability and carbon sampling methodologies and physiological parameters in the silvopastoral system

ABSTRACT

For a correct evaluation of the organic carbon dynamics in the soil-plant system is necessary to improve the collection methodologies due to their spatial variability. Thus, the objective was to propose a sampling methodology considering the spatial variability of soil organic carbon and physiological parameters in a silvopastoral system implanted in the northern region of Minas Gerais. The collections were performed in January 2018 in a silvopastoral system with double row arrangement (with *E. urograndis* planted in 3 x 2m spacing) and alleys (grown with *B. brizanta* cv. Marandu) at 14m spacing between rows. They were randomized four sampling transects within the system (with a usable area of 844m²), and they were taken samples at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, linearly, between the two rows, totaling 20 sampling points. Each transect was divided into side A (left row and left side of the alley) and side B (right row and right side of the alley), both with 10 meters long. Inside the alleys were carried out physiological evaluations on the marandu-grass plants using gas analyzer for infrared (IRGA) and determined stomatal conductance (Gs), transpiratory rate (E) and carbon dioxide assimilation rate (CO₂) or photosynthetic rate (A). To identify the best sampling strategy for future experiments in silvopastoral system, it was used the modified maximum curvature method and the Hatheway method. According to the modified maximum curvature method for TOC analysis, sampling should be performed at seven points (four samples in the row and three in the alley). Already for Cmic of the soil in silvopastoral system, sampling should be performed at 11 sampling points (four random points in the alley and six points in the rows). The samples for physiological parameters of marandu-grass within the silvopastoral system should be composed by collection at 13 random points within the area (alley). Using the Hatheway method, due to the spatial variability of the silvopastoral system, it is not recommended to install experiments with high precision (minimum significant difference (DMS) close to 20%) since that there is a need to increase the number of samples collected in reason of the high estimates of coefficients of variation. Thus, considering an experiment in randomized block design (DBC) with 5 treatments and 4 replications, with 8 samples in the alley and 3 in the row it is possible to distinguish treatments with DMS below 23% for TOC and 71% for Cmic, while 23 evaluations within the plot make possible to distinguish of treatments with DMS below 80% for the estimated physiological parameters.

Key words: Soil sampling. Microbial carbon. Modified maximum curvature method. Hatheway method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1** Representação geográfica da área experimental com sistema silvipastoril. Francisco Sá, Norte do estado de Minas Gerais, Brasil53
- FIGURA 2** Esquema demonstrativo da amostragem realizada no solo (a) e de parâmetros fisiológicos (b) em sistema silvipastoril com eucalipto e capim marandu. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil.....54
- FIGURA 3** Variabilidade transversal dos teores de COT (g kg⁻¹) e de Cmic (mg kg⁻¹) estimados, em três profundidades, em sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Linhas seguidas de ns indicam a similaridade entre o lado direito e esquerdo do sistema silvipastoril pelo teste t pareado ao nível de 5% de significância. Linhas seguidas de ** indicam diferença entre o lado direito e esquerdo do sistema silvipastoril pelo teste t pareado ao nível de 1% de significância55
- FIGURA 4** Variabilidade transversal da Taxa de assimilação de CO₂, Taxa de transpiração e Condutância estomática em sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Linhas seguidas de ns indicam a similaridade entre o lado direito e esquerdo do sistema silvipastoril pelo teste t pareado ao nível de 5% de significância56
- FIGURA 5** Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, considerando o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos para o COT, na aleia nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e do renque nas profundidades de 0-5 cm (D), 5-10 cm (E), 10-20 cm (F) e, para o Cmic, na aleia nas profundidades de 0-5 cm (G), 5-10 cm (H), 10-20 cm (I) e do renque nas profundidades de 0-5 cm (J), 5-10 cm (K), 10-20 cm (L) em sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil57
- FIGURA 6** Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, considerando o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para a assimilação de CO₂ (A), taxa transpiratória (B) e Condutância estomática (C) em capim-marandu. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil.....58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Estimativas dos coeficientes de regressão A e B do modelo potência, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV%) e ponto de máxima curvatura (X_c), para a estimativa do número ótimo de amostras, a fim de representar um sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil	52
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Assimilação de CO ₂
C	Carbono
Cmic	Carbono microbiano
COT	Carbono orgânico total
CV%	Coefficiente de Variação
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DIC	Delineamento inteiramente casualizados
DMS	Diferença mínima significativa
E	Taxa transpiratória
GEE	Gases do efeito estufa
Gs	Condutância estômatica
MMCM	Método da máxima curvatura modificado
UB	Unidade básica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Sistemas integrados de produção e mitigação de gases de efeito estufa	17
3.2	Adoção de diferentes arranjos em sistemas integrados de produção	18
3.3	Metodologias de amostragem para os sistemas integrados de produção	19
3.3.1	Metodologias de amostragem de solo em sistemas integrados de produção	19
3.3.2	Metodologias de amostragem de planta em sistemas integrados de produção	20
3.4	Modelos para a amostragem de solo e planta e tratamento de dados	22
3.4.1	Representatividade amostral	22
3.4.1.1	Método da Máxima Curvatura	23
3.4.1.2	Método de Máxima Curvatura Modificada	24
3.4.1.3	Método de Hatheway	25
3.5	Sistemas integrados de produção: desafios para estimar um número ótimo de parcelas, repetições em virtude da variabilidade	26
3.6	Referências	27
4	ARTIGO	33
4.1	Artigo 1- Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	APÊNDICE A – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DIC, em função do número de tratamentos e de repetições, para o COT, na aleia, nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e do renque, nas profundidades de 0-5 cm (D), 5-10 cm (E), 10-20 cm (F) e, para o Cmic, na aleia, nas profundidades de 0-5 cm (G), 5-10 cm (H), 10-20 cm (I) e do renque, nas profundidades de 0-5 cm (J), 5-10 cm (K), 10-20 cm (L), em sistema silvopastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil	60
	APÊNDICE B – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DIC, em função do número de tratamentos e de repetições, para a assimilação de CO ₂ (A), taxa transpiratória (B) e Condutância estomática (C) em capim-marandu. No Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil.....	61
	APÊNDICE C – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para o COT, na aleia e no renque, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.....	62
	APÊNDICE D – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para o Cmic, na aleia e no renque, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.....	63

APÊNDICE E – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para os parâmetros fisiológicos do capim-marandu	64
--	----

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as mudanças de uso da terra pelo desmatamento e as práticas agrícolas são as principais responsáveis pela emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que correspondem às emissões de 75% do CO₂ emitidos para a atmosfera (CERRI; CERRI, 2007). Sendo assim, faz-se necessária a utilização de sistemas conservacionistas de produção que auxiliem na mitigação dos GEE e também atuem como sumidouro de carbono (CERRI *et al.*, 2009).

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma estratégia dentro do “Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas”, visando à consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC, permitindo a retenção do carbono no solo e na biomassa dos diferentes componentes vegetais utilizados (BALBINO *et al.*, 2011). Em conformidade com Machado *et al.* (2011), a ILPF é denominada como uma técnica de produção sustentável, que associa atividades pecuárias, florestais e agrícolas, em uma mesma área, e o cultivo pode ser em rotação, sucessão ou consorciado.

Os sistemas de ILPF intensificam e melhoram a eficiência do uso da terra, geram aumento na matéria orgânica do solo, maior sequestro de carbono, redução da erosão, melhoria nas condições microclimáticas e bem-estar animal (BALBINO *et al.*, 2011). Porém são sistemas múltiplos e apresentam uma variabilidade de produção em função do ambiente e dos arranjos utilizados. Em virtude dessa heterogeneidade, encontra-se dificuldade, para determinar a dinâmica do carbono, no sistema solo-planta, uma vez que não existem metodologias específicas de amostragem, em função do sistema adotado (VIANA *et al.*, 2013; ASSIS *et al.*, 2015).

De acordo com Borges *et al.* (2018), os parâmetros do solo são afetados pela deposição de excremento dos animais e pisoteamento, principalmente, próximo às árvores, uma vez que eles buscam as sombras. Além disso, percebem-se, ao longo dos sistemas, diferentes níveis de sombreamento e materiais residuais, decorrentes das espécies presentes no sistema, e este fator influencia diretamente nos teores de carbono no solo (SALTON *et al.*, 2011; MORAES *et al.*, 2014).

Mesmo utilizando estratégia de plantio do eucalipto no sentido Leste/Oeste, existem diferenças relevantes, na quantidade e qualidade da radiação solar, no sub-bosque do sistema silvipastoril. Pelo arranjo espacial das árvores e locais de amostragem, essa diferença pode variar com o aumento da idade de implantação do sistema, visto que quanto maior o componente florestal, maior será o sombreamento na aleia (DOMINGUES, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2014). O sombreamento pode limitar a taxa fotossintética, transpiratória e a abertura dos estômatos das plantas, especialmente para as C4 (SANTOS *et al.*, 2017; BEHLING *et al.*, 2016).

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de uma correta mensuração do potencial de acúmulo de carbono, no sistema solo-planta, em sistemas integrados de produção, visando determinar um número ideal de amostras a serem coletadas dentro do sistema. Os métodos da máxima curvatura modificado (MMCM) e de Hatheway permitem estimar o tamanho ótimo de

parcelas e o número ideal de repetições por parcela, respectivamente, para se obter representatividade amostral. O MMCM correlaciona o número de amostras ideal com o coeficiente de variação, já o método de Hatheway permite estimar a verdadeira diferença detectável entre as médias de tratamentos, que é obtida isolando essa variável na fórmula de determinação do número ótimo de repetições por parcela (PARANAIBA; FERREIRA; MORAIS, 2009; COCCO *et al.*, 2009; DONATO *et al.*, 2008; CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2011).

Assim, de acordo com Colman *et al.* (2013), Domingues (2015) e Almeida *et al.* (2012), torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias de amostragem de solo e de planta que avaliem a variabilidade do carbono e a fisiologia das forrageiras cultivadas em função do arranjo e das espécies utilizados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a variabilidade espacial do carbono orgânico total e microbiano do solo e parâmetros fisiológicos de capim-marandu cultivado em sistema silvipastoril e propor o número ótimo de amostras a serem coletadas, em sistema integrado de produção, implantado em Francisco Sá, Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- i. Avaliar os parâmetros fisiológicos – assimilação de CO_2 (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (Gs) – das plantas de capim-marandu cultivado em sistema silvipastoril e considerando as diferentes distâncias do eucalipto;
- ii. Avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico total e microbiano do solo dentro dos renques e nas aleias do sistema silvipastoril;
- iii. Determinar, utilizando os métodos da máxima curvatura modificado e de Hatheway, o número ideal de amostras a serem coletadas no renque e na aleia para a avaliação dos componentes solo e planta no sistema silvipastoril.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas integrados de produção e mitigação de gases de efeito estufa

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) foi idealizada como um modelo de produção sustentável, que associa atividades pecuárias, florestais e agrícolas na mesma área, com cultivo em rotação, sucessão ou consorciado. Sendo assim, envolve sistemas diversificados para a produção de energia, alimento, fibras, produtos madeireiros e não madeireiros, de procedência animal ou vegetal, de maneira a aperfeiçoar os ciclos biológicos dos animais e das plantas e também de seus insumos e resíduos. Baseia-se na relação dos elementos do sistema produtivo, com a finalidade de alcançar melhor qualidade dos produtos gerados e do ambiente (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011).

Conforme Balbino *et al.* (2011), a utilização dos sistemas de ILPF, além de intensificar e melhorar a eficiência do uso da terra, gera outros benefícios ao meio ambiente: aumento na matéria orgânica do solo, maior sequestro de carbono, redução da erosão, melhoria nas condições microclimáticas e bem-estar animal. Gera, também, benefícios econômicos tais como: aumento na produtividade com menor custo de produção, redução dos riscos de perdas na agropecuária, principalmente, por quedas no mercado e variações climáticas de uma cultura para outra.

Os sistemas integrados favorecem, por intermédio do componente florestal, a melhoria do microclima, cobertura e proteção do solo, maior estabilidade da temperatura e umidade relativa do ar, regularização hídrica e eólica (PRIMAVESI, 2007). Além disso, pela diversidade no interior do sistema, a ILPF tem potencial de armazenar carbono (C), na biomassa vegetal da pastagem e das árvores, podendo, dessa maneira, diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar os estoques de C (PIVA, 2012), tanto na vegetação como no solo da área implantada (NAIR *et al.*, 2011).

Em função das diferentes necessidades das culturas em rotação dentro do sistema, obtém-se uma melhoria, na fertilidade do solo, por meio da ciclagem dos nutrientes e eficiência no uso de fertilizantes. Também são observadas melhorias das propriedades físicas do solo, como maior taxa de infiltração de água, diminuição da compactação, da densidade aparente e uma maior estabilidade dos agregados, aumentando assim o estoque de C no solo, desde que haja manejo adequado do sistema (MACEDO, 2009).

De acordo com Soares e Oliveira (2002), o potencial de sequestro de carbono do componente florestal e a viabilidade econômica do sistema são determinados, de acordo com os estoques de C presentes no solo, nas raízes e na parte aérea das árvores. Estima-se que tanto a biomassa quanto os produtos de madeira podem reter algo em torno de 110 a 200 Mg ha⁻¹ de carbono (NABUURS; MOHREN, 1995 *apud* SILVA; ARAKAKI, 2012). Balbino *et al.* (2003) evidenciaram participação do sistema radicular, na capacidade total de fixação de carbono atmosférico da espécie *Pinus taeda*, que representou 19% do C total fixado.

De acordo com Silva e Arakaki (2012), a ILPF, apesar de não apresentar lucro imediato,

possui vantagem para a mitigação de C e recuperação de áreas degradadas. Oliveira *et al.* (2008) alegam que a comercialização dos créditos de C pode trazer retorno econômico ao sistema no período de implantação do projeto.

3.2 Adoção de diferentes arranjos em sistemas integrados de produção

O planejamento, para a implantação do sistema integrado de produção, é necessário ao êxito no empreendimento rural. Dessa forma, a participação ativa do produtor, em relação à dinâmica do mercado local ou regional, aos custos, ao retorno econômico e às projeções de produtividade, são fundamentais neste processo (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010).

O arranjo espacial, contemplando 357 plantas/ha de eucalipto, promove fixação de 72,32 t/ha/ano de CO₂eq. Essa estocagem é o suficiente para neutralizar as emissões de GEE de 38,47 bovinos de corte/ha/ano (FERREIRA *et al.*, 2012).

Os sistemas integrados de produção, conforme o arranjo dos componentes pecuário, agrícola ou florestal na área, podem ser subdivididos em quatro modalidades: Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Sistema Agropastoril; Integração Pecuária-Floresta (iPF) ou Sistema Silvopastoril; Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Sistema Silviagrícola; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Sistema Agrossilvipastoril (DANIEL *et al.* 1999; BALBINO; BARCELLOS; STORE, 2011).

A maior parte dos sistemas de ILPF, no Brasil, encontram-se no bioma Cerrado, adaptados à realidade e à necessidade de cada produtor rural. Os principais sistemas estão pautados, na produção de grãos, recuperação de pastagens degradadas via cultivos agrícolas e melhor uso da propriedade pela rotação de culturas (VILELA *et al.*, 2011).

As áreas com os sistemas ILPF, no Brasil, chegaram a 11,5 milhões de hectares, sendo o Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Minas Gerais os estados que mais se destacam em área de adoção, com 2, 1,5, 1,4 e 1 milhão de hectares, respectivamente, dos produtores que visavam à pecuária e que aderiram aos sistemas integrados, 83% utilizam a ILP, 9% a ILPF e a 7% a IPF. Por outro lado, quando o foco principal é a produção de grãos, 99% adotam a ILP, 4% a ILPF e 0,2% a ILF (EMBRAPA, 2016).

No estado do Mato Grosso do Sul, em conformidade com Ribeiro (2017), os sistemas com arranjos ILP e ILPF são os mais utilizados, pelo fato de o foco principal do estado ser a pecuária. O Estado de Minas Gerais possui condições de solo e clima propícias ao cultivo de espécies florestais, grãos, pecuária de leite e de corte. Em 2010 e 2011, a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (SEAPA), juntamente com a EMATER-MG, dentro do plano de ação "Integração Lavoura, Pecuária e Floresta em Propriedades Rurais", implantou, em pequenas propriedades rurais de diversos municípios do estado, 264 Unidades Demonstrativas (UD) de sistemas ILPF com as culturas de eucalipto, milho e braquiária. Esse arranjo é o que mais tem sido utilizado no Estado (GONTIJO NETO *et al.*, 2013).

3.3 Metodologias de amostragem para os sistemas integrados de produção

A metodologia de amostragem, para a avaliação dos atributos do solo, é variável nas pesquisas relacionadas a sistemas integrados de produção. Não há padronização sobre métodos e pontos de coleta, porém vários autores concordam que, em sistemas com o componente florestal, a posição da amostragem quanto às árvores influencia diretamente na resposta aos parâmetros de qualidade solo (ASSIS *et al.*, 2015; COLMAN; SALTON; MERCANTE, 2013).

No que se refere à resposta fisiológica das plantas forrageiras, nos sistemas integrados, estudos comprovam que o crescimento e produtividade das pastagens dependem da quantidade e intensidade de luz incidente. Esses fatores são influenciados pela posição do componente florestal no sistema e espaçamento entre renques, uma vez que interferem na taxa de sombreamento (VIANA *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2012; DOMINGUES, 2015).

3.3.1 Metodologias de amostragem de solo em sistemas integrados de produção

Estudo realizado por Assis *et al.* (2015), em Nova Canaã do Norte (MT), avaliou os sistemas de ILPF (eucalipto, pastagem e sucessão do componente agrícola- arroz, soja e milho) com uma e três linhas de eucalipto, com espaçamento de 2m x 3m e 20 metros entre reques. As amostras foram retiradas, na linha de árvores (entre plantas) e a 2,5; 5,0 e 10,0 m de distância do eucalipto, já no sistema com renque triplo as amostragens foram feitas na linha central das árvores e a 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 m de distância da linha externa do eucalipto. Em Cachoeira Dourada (GO), os autores avaliaram o sistema triplo (eucalipto, pastagem e sucessão do componente agrícola- soja e milho), com três linhas de eucalipto, com o mesmo espaçamento e 14 metros entre renques. As amostras foram retiradas na linha central das árvores do renque triplo e a 1,5; 3,0 4,5; 6,0 e 9,0 m da linha externa de eucalipto. A coleta de solo foi realizada nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade e o número de repetições foi igual a cinco com duas subamostras em cada camada. Os resultados encontrados mostraram que os sistemas de ILPF apresentaram melhoria, na qualidade física do solo e o resultado foi variável, de acordo com a posição da amostragem com relação às linhas de eucalipto.

Diel *et al.* (2014) realizaram, em Sinop (MT), um estudo sobre disponibilidade de fósforo (P disponível), no solo em sistema de ILPF, composto de linhas triplas, no espaçamento 3,5 x 3,0 m entre plantas e na distância de 30 m entre renques, com cultivos anuais na aleia de soja na safra e de milho consorciado com *Urochloa brizantha* Marandu na safrinha. Os autores adotaram como metodologia de amostragem do solo a coleta, no sentido transversal às linhas de eucalipto (transecto), partindo-se do meio da área do renque central até 15 m no centro entre os renques. As amostras de solo foram retiradas nas camadas de 0,0 –0,5 0,5– 0,10, 0,10– 0,20 e 0,20– 0,30 m, no centro do renque e às distâncias de 3, 6, 10 e 15 m da linha externa do renque central, para ambos os lados (Norte e Sul). Foram coletadas amostras de solo, em quatro transectos equidistantes (50 m), para formar uma amostra composta em cada

posição de coleta e profundidade. Os resultados encontrados mostraram que os teores de P disponível não diferiram entre as distâncias do renque das árvores e foram maiores nas camadas superficiais do solo.

Estudando dois sistemas ILP com sistema rotacionado a cada dois anos, utilizando-se *Brachiaria brizantha* e sucessão soja/milho + braquiária para lavoura e dois ILPF com linhas simples de eucalipto espaçadas a 25 m e entrelinhas compostas por um sistema rotacionado a cada dois anos, utilizando-se *Brachiaria brizantha*, para pastagem e sucessão soja/milho+braquiária para lavoura (diferença entre os tratamentos à época de amostragem, sendo uma, durante o período de lavoura e a outra, durante o período de pastagem) em Ponta Porã (MS), Colman, Salton e Mercante (2013) realizaram as amostragens de solo, na camada de 0-10 cm de profundidade e em pontos demarcados, ao longo de um transecto (não foi informado tamanho), utilizando-se seis repetições (amostras), compostas por oito subamostras cada. Resultados mostraram que o sistema ILPF favoreceu o crescimento microbiano, porém os autores não apresentaram dados sobre a resposta desse parâmetro em relação aos diferentes pontos de amostragem.

Em experimento com arranjos estruturais, para o eucalipto em linhas duplas: (3 x 2) e 20 m na aleia e (2 x 2) e 9 m na aleia e, em linha simples: 9 x 2 m (consorciado milho com o capim-braquiária *Urochloa decumbens* cv. Basilisk), conduzido por Viana *et al.* (2016), no Campo Experimental de Santa Rita/EPAMIG, Prudente de Morais (MG), a amostragem do solo foi realizada nas subparcelas sob a copa do eucalipto a um metro de distância do tronco e no centro da parcela entre os renques. Amostras de solo foram retiradas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e avaliaram-se os teores e estoques do carbono orgânico. Ao fim do trabalho, não encontraram diferença significativa entre os pontos de amostragem.

Para avaliar o carbono da biomassa microbiana, em dois sistemas ILPF (eucalipto, pastagem e rotação do milho), com renque duplo e 50 metros de aleia (ILPF-50) e o segundo com renque triplo e 15 m de aleia (ILPF-15) Gregolin (2017), realizou-se a amostragem do solo, na camada de 0-10 cm em “zig-zag”. Foram coletadas 25 subamostras, para cada amostra composta, em 2013 e 2015. No sistema de ILPF-50, o solo foi amostrado no sentido transversal às linhas de eucalipto, partindo-se da linha externa (LE) do renque até o centro da aleia na LE e a distância de 12,5 e 25,0 m de distância da LE, em ambas as faces de insolação (Norte e Sul). No ILPF-15, o solo foi amostrado na linha central (LC) do renque de eucalipto e a distância de 3,5 e 7,5 m da árvore central, nas faces de insolação Norte e Sul do tratamento. Ao fim do trabalho, não se encontraram diferenças entre as distâncias para o ILPF - 50. No entanto, quando comparados os resultados de 2015 com 2013, o ILPF - 15 apresentou tendência ao aumento do carbono da biomassa a distância de 7,5 m da árvore central.

3.3.2 Metodologias de amostragem de planta em sistemas integrados de produção

Pereira (2017) avaliou a produtividade de forrageiras, comparando três sistemas, dois ILPF com eucalipto cultivado com soja nas entrelinhas e depois da colheita da soja,

implantando a braquiaria primeiro, nos espaçamentos 22 x 2 m (ILPF-22) e o segundo no espaçamento 14 x 2 m (ILPF-14) e, por último, ILP (rotação de soja e braquiaria). O experimento foi conduzido na cidade de Campo Grande/MS. Para o estudo, foram realizadas coletas, a cada 28 dias, em dois transectos perpendiculares às fileiras de árvores. Em cada transecto, foram delimitados cinco pontos de coleta, totalizando dez amostras por piquete. Para a estimativa da massa de forragem, a forrageira foi cortada, ao nível do solo, com área amostral de 1 x 1 m por ponto amostral. Resultados evidenciaram maior produtividade da forrageira dentro do sistema ILPF, no entanto os autores não apresentaram dados quanto à influência dos pontos de amostragem sobre os resultados obtidos.

Estudo desenvolvido por Domingues (2015), no município de Andradina (SP), avaliou a produção total de forragem, nos sistemas de ILPF (eucalipto com um consórcio de milho e capim-marandu) a distância de 2, 4, 6, 8 e 10 m em relação às árvores de eucalipto. No corte, foi utilizado um retângulo de 1,0 x 0,5 m e a forragem cortada rente ao solo. Os resultados encontrados mostraram que não houve diferença na produtividade da forrageira, de acordo com as distâncias de amostragem, no entanto, quando se avaliou a interceptação luminosa sobre as forrageiras, percebeu-se que ela se diferenciou entre as distâncias, de acordo com o crescimento da espécie.

Para estabelecer os limites de sombreamento a serem controlados, durante o ciclo silvipastoril, devem-se considerar estudos de comportamento fotossintético da forragem a ser utilizada em diferentes condições de radiações. Pode-se indicar o nível máximo geral de sombreamento de 50%, para as forrageiras de inverno dentro do sistema, porém existem forrageiras tropicais que toleram sombreamento de até 70% com produção satisfatória dentro do sistema silvipastoril (VARELLA *et al.*, 2012).

A maioria das gramíneas forrageiras são mais sensíveis ao sombreamento, na fase de estabelecimento, que na fase produtiva, sendo que, para níveis de sombreamento de 30% a 50%, as gramíneas *Brachiaria brizantha* (cvs. Marandu, Xaraés e Piatã), *B. decumbens* (cv. Basilisk), *Panicum maximum* (cvs. Aruana, Mombaça e Tanzânia) e *Panicum spp.* (cv. Massai) são consideradas tolerantes e com produção satisfatória em sistemas de ILPF. Desse modo, o estabelecimento de gramíneas forrageiras, a partir do primeiro ano do plantio das árvores, é mais efetivo do que em sistemas com árvores já desenvolvidas em razão do maior sombreamento (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Para avaliar as características fisiológicas da cultura da soja em sistema de ILPF, com cultivo de eucalipto em renques triplos, com espaçamento 3,5 x 3,0 m, plantada na orientação Leste-Oeste e com distância de 30 m entre os renques cultivados, anualmente, com soja na safra e milho consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu na safrinha, Behling *et al.* (2016) realizaram a coleta a 3, 6, 10 e 15 m de distância do renque central, para as faces Norte e Sul (FN e FS), em quatro transectos equidistantes a cada 50 m, com exceção dos 25 m de bordadura, totalizando 20 folhas/posição. As avaliações foram realizadas, durante o estágio de desenvolvimento R5 da soja, com um analisador de gás infravermelho, o LCpro-SD. Os resultados obtidos mostraram que a taxa fotossintética (A) diferiu entre a face Sul e Norte e a

face Norte apresentou menores valores, pois recebeu mais sombreamento. E, em ambas as faces, quanto mais próximo das árvores de eucalipto menor valor da taxa de fotossíntese.

Viana *et al.* (2010) avaliaram a produtividade do sorgo em sistema de ILPF (eucalipto com sorgo, consorciado com *Brachiaria* nas entrelinhas), comparado com o cultivo a pleno sol no município de Prudente de Moraes, no estado de Minas Gerais, para amostras mais representativas do estrato horizontal; a amostragem foi feita do centro de cada subparcela até a borda, margeando com o eucalipto. Nos arranjos estruturais de $(2 \times 2) + 9 \text{ m}$ e $9 \times 2 \text{ m}$, foi amostrada uma área de $(4,5 \times 3 \text{ m})$ de sorgo; já no arranjo de $(3 \times 2) + 20 \text{ m}$, foi amostrada uma área de $(10 \times 3 \text{ m})$ de sorgo. Os resultados obtidos mostraram diferença estatística entre os diferentes arranjos do eucalipto, de modo que a produtividade e produção do sorgo, nos arranjos $(3 \times 2) + 20 \text{ m}$ e $9 \times 2 \text{ m}$ (simples), foram equivalentes ao cultivo a pleno sol. De acordo com o próprio autor, isso se deve, porque, em espaçamentos maiores, há maior radiação no sobosque do sistema.

3.4 Modelos para a amostragem de solo e planta e tratamento de dados

Experimentos realizados em campo possuem variáveis difíceis de serem controladas, tais como: perdas de plantas ou até mesmo parcelas, diferentes qualidades de mudas e sementes, diferentes delineamentos experimentais ou sua ausência, interação entre genótipos-ambiente, variabilidade no ambiente pela umidade ou fertilidade do solo, competição e heterogeneidade. A análise de estatística espacial, principalmente por meio dos modelos de análise de séries temporais e modelos geoestatísticos, apresenta um meio de contornar os problemas de variabilidade ambiental (RESENDE, 2004). De acordo com o mesmo autor, as análises tradicionais de experimentos de campo assumem que todas as observações não são correlacionadas, ou seja, a sua distribuição espacial é ignorada. No entanto, é possível perceber que existe uma dependência espacial entre as observações que deve ser analisada com critério.

Torna-se difícil realizar análises comparativas de trabalhos nos sistemas de ILPF, pois, de acordo com os autores Viana *et al.* (2010); Domingues (2015); Gregolin (2017); Colman, Salton e Mercante (2013), existe falta de padronização de amostragem em sistemas de ILPF. Sendo assim, faz-se necessário o aprofundamento de estudos, para quantificar de forma representativa a influência dos sistemas integrados de produção nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, e dinâmica de carbono do solo e as diferentes espécies dentro do sistema.

3.4.1 Representatividade amostral

O planejamento experimental é de fundamental importância ao pesquisador, pois, a partir daí o mesmo poderá definir o que comporá sua unidade experimental ou parcela (menor unidade do experimento que receberá os tratamentos) buscando maior eficácia do

experimento, devido à redução do erro experimental (FACCO *et al.*, 2018; PARANAIBA; FERREIRA; MORAIS, 2009). O objetivo de se reduzir o erro experimental é aumentar a precisão dos testes de comparação de médias, pois reduz o intervalo de confiança entre as médias (COCCO *et al.*, 2009).

De forma geral a parcela e o delineamento estatístico, são determinados segundo as necessidades e a experiência do pesquisador, ou seja, não há uma padronização (SILVA *et al.*, 2003). Segundo Cocco *et al.* (2009), é necessário determinar o tamanho ótimo de parcelas de acordo com sua situação de cultivo e o mesmo não pode ser generalizada para outras condições, pois são as características de cada sistema de produção que gerará resultados confiáveis.

Um dos parâmetros considerados para que os resultados encontrados em pesquisas sejam verdadeiros é o correto dimensionamento do tamanho ótimo de parcelas (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2015). O adequado dimensionamento do tamanho ótimo de parcelas e número de repetições em planejamentos experimentais é fundamental para quantificar com precisão as diferentes épocas de avaliação. Por meio de ensaios de uniformidade, homogeneidade de procedimentos em toda área experimental, sendo possível determinar o tamanho ótimo de parcelas e o número de repetições (SANTOS *et al.*, 2016).

Conforme Donato *et al.* (2008) e Viana *et al.* (2002), fatores como: solo, local de ensaio, época de avaliação, características avaliadas, recurso, práticas de manejo e método de estimativa poder variar o tamanho ideal das parcelas.

Na literatura existem diferentes metodologias para determinar a forma e o tamanho das parcelas experimentais. Destacam-se dentre as mais utilizadas: Método da Máxima Curvatura Modificado, Método de H. Fairfield Smith, Método de Pimentel Gomes, Método da Máxima Curvatura, Método da Regressão Múltipla, Método de W. H. Hatheway, Método da Informação Relativa, dentre outros (STORCK, 1979 *apud* ZANON; STORCK, 2000).

3.4.1.1 Método da Máxima Curvatura

Este método consiste em utilizar um ensaio de uniformidade (ensaios em branco) onde é plantada uma única variedade, mais pura possível, em toda área experimental e utiliza práticas de cultivo similares (PARANAIBA; FERREIRA; MORAIS, 2009). Em conformidade com esses autores, Zanon e Storck (2000), explicam que por meio do modelo são calculados os coeficientes de variação $CV(X)$ para cada tamanho (X) de parcela, segundo a equação:

$$CV(X) = \sqrt{\frac{Var(X)}{\bar{y}}} * 100$$

Em que $Var(X)$ representa a variância do total de parcelas com X unidades experimentais básicas (UEB) e \bar{y} representa a sua média.

A partir do CV e do tamanho da parcela em unidades básicas (UB), ajusta-se o modelo de regressão potência: $CV_i = \frac{A}{X_i^B} + e_i$. Onde o CV_i é o coeficiente de variação estimado para o i -ésimo tamanho amostral, sendo A e B coeficientes do modelo de regressão, X_i o número de UB associado ao i -ésimo tamanho amostral e e_i o erro experimental associado ao i -ésimo tamanho amostral.

Pelo método da máxima curvatura, unidades básicas são formadas a partir da colheita de um experimento de uniformidade, combinando-as de maneira a formar parcelas experimentais de vários tamanhos. Para cada tamanho de parcela são obtidos coeficientes de variação (CV), que são graficamente representados versus o tamanho de cada parcela avaliada. O tamanho ótimo da parcela é determinado, visualmente, correspondendo ao ponto de máxima curvatura (FEDERER, 1955 *apud* VIANA *et al.*, 2002). Os experimentos de uniformidades são divididos em pequenas parcelas, medindo a produção de cada uma, de maneira que os dados das parcelas próximas possam ser somados, formando parcelas de diferentes tamanhos e formas (LOPES *et al.*, 1998).

Donato *et al.* (2008), para calcular o CV e o índice de heterogeneidade do solo, visando estimar o tamanho ótimo de parcela pelo método da máxima curvatura, combinaram as características avaliadas das unidades básicas adjacentes, formando tamanhos diferentes de parcela. Os próprios autores desenvolveram rotinas, em planilhas do Microsoft Excel, para executar os cálculos e gerar os gráficos.

Em trabalho realizado por Henriques Neto *et al.* (2004), para a avaliação da produtividade de grãos de trigo sob condições irrigadas, em sistema de plantio direto e convencional, inicialmente, calcularam-se, no método da máxima curvatura, os valores de CV dos dados de produtividade, de acordo com os tamanhos de parcelas pré-estabelecidos. Os valores de CV foram plotados versus seus respectivos tamanhos de parcela, num sistema de eixos coordenados, obtendo-se uma curva que representa a relação entre essas variáveis, utilizando as planilhas do Excel.

Lúcio *et al.* (2004) estimaram o tamanho ótimo de parcelas, para o cultivo do pimentão por três métodos distintos: o da máxima curvatura, o da comparação das variâncias e o de Hatheway, em que construíram os gráficos com os coeficientes de variação, no eixo das ordenadas e a área das parcelas, no eixo das abscissas. O tamanho ótimo foi determinado, visualmente, no ponto da máxima curvatura do gráfico.

De acordo com Paranaíba, Ferreira e Moraes (2009), esse é um método bem simples e de fácil utilização. No entanto o fato de o ponto máximo da curvatura ser observado visualmente proporciona uma fonte de erro para a estimativa do tamanho ótimo da parcela.

3.4.1.2 Método de Máxima Curvatura Modificada

O método da máxima curvatura modificada é um aperfeiçoamento do método anterior e consiste em se determinar o ponto no qual a curvatura é máxima na curva algebricamente e relaciona o coeficiente de variação com tamanho de parcela (HENRIQUES NETO *et al.*, 2004).

Conforme Paranaíba, Ferreira e Morais (2009), o método de máxima curvatura modificado foi desenvolvido por Lessman e Atkins (1963) e adaptado por Meier e Lessman (1971), com o intuito de aperfeiçoar o método da máxima curvatura. Explicam a relação entre o coeficiente de variação (CV(X)) e tamanho da parcela (X), permitindo que o ponto que corresponde ao tamanho ótimo de parcela seja determinado, algebricamente, por meio da expressão:

$$CV_X = \left[\frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{B + 2} \right]^{\frac{1}{2+2B}}$$

Em que os valores de A e B são estimados, por meio do método dos mínimos quadrados, a partir do ajuste do modelo: $CV_i = A/X_i^B + e_i$.

Silva *et al.* (2003), com o objetivo de determinar o tamanho ótimo da parcela experimental, para testes clonais de eucalipto, utilizando o modelo de máxima curvatura modificada, indicaram que o número de plantas, em uma parcela experimental, tendem a aumentar, de acordo com o incremento da idade do plantio, independente da variável analisada e do desempenho dos clones. O autor explica que esse resultado pode ser em razão de a interação do eucalipto com o ambiente, no entanto alega que, mesmo o método sendo um dos mais utilizados, para estimar o tamanho ótimo de parcelas, o princípio do método não visa ao ponto de estabilização dos valores de coeficiente de variação experimental, mas, sim, em determinar o ponto de máxima curvatura, algebricamente, considerando a máxima curvatura e o vértice da curva, subestimando assim o tamanho ótimo de parcela.

O trabalho Cargnelutti Filho *et al.* (2011) objetivou comparar dois métodos de estimação de tamanho ótimo de parcela para avaliar 12 caracteres de híbridos de milho. Diante dos resultados, ficou comprovado que os dois métodos (de curvatura máxima modificada e de curvatura máxima do modelo do CV) apresentaram estimativas de tamanho ótimo de parcela, de maneira que podem ser avaliadas, independentemente do híbrido, e o modelo da curvatura máxima modificada fornece maior tamanho ótimo de parcela.

Avaliando o tamanho ótimo de parcelas, para a produtividade de grãos de trigo sob condições irrigadas, em sistema de plantio direto e convencional, Henriques Neto *et al.* (2004) concluíram com o método da máxima curvatura e o método da máxima curvatura modificado que, no plantio direto, as parcelas devem ser maiores, para obter a mesma precisão experimental, em relação ao plantio convencional.

3.4.1.3 Método de Hatheway

O método de Hatheway (1961) permite estimar a verdadeira diferença detectável entre as médias de tratamentos, que é obtida isolando essa variável na fórmula de determinação do tamanho conveniente de parcela (HENRIQUES NETO *et al.* 2004; COCCO *et al.*, 2009; DONATO *et al.*, 2008).

Conforme Lúcio *et al.* (2004), a fórmula de Hatheway considera o coeficiente de variação estimado para a parcela, o índice de heterogeneidade do solo (b), os valores da distribuição “t” de Student, o número de repetições previsto (r) e a diferença mínima significativa entre médias de dois tratamentos, medida em porcentagem da média verdadeira, por meio da equação:

$$X = \sqrt[B]{\frac{2(t_1 + t_2)^2 CV^2}{d^2 r}}$$

Em que X = tamanho da parcela; r = número de repetições requerido, para detectar diferenças de d unidades; d = diferença verdadeira entre duas médias de tratamentos expressa em porcentagem da média; CV = estimativa do coeficiente de variação em porcentagem para uma unidade básica; t1 = valor crítico de t para testes de significância (bilateral a 5%) e t2 = valor crítico de t correspondente a 2 (1- P), em que P é igual a 0,80 e B = índice de heterogeneidade do solo.

Neste método, utiliza-se o índice de heterogeneidade do solo (b), que varia entre zero e um. Valores de b iguais a um indicam que a área possui alta heterogeneidade, ou seja, não há correlação entre as parcelas adjacentes. Quando b é próximo de zero, indica ambiente bem homogêneo, com elevada correlação entre as parcelas (HENRIQUES NETO *et al.*, 2004).

Trabalho realizado por Lúcio *et al.* (2004) objetivou determinar o tamanho e a forma ótimos de parcela, para a cultura do pimentão, quando conduzida em ambiente protegido. Os autores concluíram com este método que, mesmo neste ambiente, a área era heterogênea e isso acabou favorecendo uma grande variabilidade na fitomassa dos frutos de pimentão.

Para verificar se diferentes cultivares de soja apresentam variados tamanhos ótimos de parcela e número de repetições, Martin *et al.* (2005) utilizaram o método de Hatheway para definir o número de repetições. Ao final, inferiram que, para as cultivares em estudo, as estimativas não diferiram, sendo adequado o número de sete repetições e tamanho ótimo de parcela de 3,96 m².

3.5 Sistemas integrados de produção: desafios para estimar um número ótimo de parcelas, repetições em virtude da variabilidade

O sistema silvipastoril possui grande variabilidade, uma vez que o componente florestal presente na área pode alterar a intensidade de radiação solar incidente e também a temperatura do ar, essas variações podem acarretar em alterações comportamentais nas plantas no sistema, influenciando seu ciclo, produtividade e uso da água. A escassez de estudos referentes ao comportamento das diferentes espécies contidas no sistema. Evidenciando assim a necessidade de estudos complementares desses sistemas (BEHLING *et al.*, 2016).

Essa interação entre os componentes do sistema (animais, forrageiras, culturas anuais e espécies florestais) pode aumentar a produtividade das áreas agrícolas, pois melhoram as

propriedades químicas, biológicas e físicas do solo possibilita também a quebra de ciclos bióticos de pragas e doenças (BALBINO *et al.*, 2011; VILELA *et al.*, 2011).

Os sistemas de ILPF são múltiplos e apresentam uma variabilidade de produção em função do ambiente e dos arranjos utilizados. Devido a essa heterogeneidade, encontra-se dificuldade para determinar a dinâmica do carbono no sistema solo-planta, uma vez que não existem metodologias específicas de amostragem em função do sistema adotado (ASSIS *et al.*, 2015).

3.6 Referências

ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. *In*: BUNGENSTAB, D. J. (ed. tec.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Brasília: Embrapa gado de Corte, 2012. cap. 7, p. 87-94. Disponível em <https://bit.ly/2Ms79Yd>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ASSIS, C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J.C.; MADARI, B.E.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p.309-316, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2MsHDCa>. Acesso em: 4 jan. 2018.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: Embrapa, 2011. 132 p. Disponível em: <https://bit.ly/2q0YpDo>. Acesso em: 10 out. 2017.

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**, v. 4, n. 6, p. 1163-1175, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/316jE0O>. Acesso em: 15 dez. 2017.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p.1-12, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2RBD2IQ>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p 59-68, 2003. Disponível em: <https://bit.ly/35wMF9w>. Acesso em: 20 set. 2018.

BEHLING, M.; CARVALHO, G.; FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, V. S.; FARIAS, J. B. CAMARGO, D. ; GREGOLIN, F. S. Aspectos fisiológicos da soja em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: SBSAF, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/33hf5Cm>. Acesso em: 19 dez. 2018.

BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEN, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2q1SgV0>. Acesso em: 30 ago. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018**. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2P1vjIn>. Acesso em: 3 jan. 2019.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; CASAROTTO, G.; LÚCIO, A. D. Métodos de estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1509-1516, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2OCcQ8w>. Acesso em: 20 set. 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; ALVES, B. M.; FACCO, G.; STEFANELLO, R. B. Tamanho de parcela para avaliar caracteres de tremço branco em épocas de avaliação. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p.206-214, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3235GOJ>. Acesso em: 10 set. 2018.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e aquecimento global**. [S. l.]: Embrapa, 2007. (Texto avulso). Disponível em: <https://bit.ly/2IBXZHC>. Acesso em: 12 out. 2017.

CERRI, C. C.; MAIA, S. F. M.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009 . Disponível em: <https://bit.ly/2OBzrCo>. Acesso em: 25 jun. 2019.

COCCO, C.; BOLIGON, A. A.; ANDRIOLO, J. A.; OLIVEIRA, C. S.; LORENTZ, L. H. Tamanho e forma de parcela em experimentos com morangueiro cultivado em solo ou em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p.681-686, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2paGzS>. Acesso em: 15 set. 2018.

COLMAN, B. A.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: [s. n.], 2013. P. 1-4. Disponível em: <https://bit.ly/35r4may>. Acesso em: 5 jan. 2018.

DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C.A.M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 367-370, 1999. Disponível em: <https://bit.ly/2OAas28>. Acesso em: 20 out. 2017.

DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A.L.; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p.639-647, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/324wqOO>. Acesso em: 3 jan. 2018.

DOMINGUES, M. S. **Produtividade da forragem de milho e capim-marandu integrados em sistema agrossilvipastoril com eucalipto**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/35nxSOb>. Acesso em: 3 jan. 2018.

DONATO, S. L. R.; SIQUEIRA, D. L.; SILVA, S. O.; CECON, P. R.; SILVA, J. A.; SALOMÃO, L. C. C. Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p.957-969, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/2OL3WG7>. Acesso em: 20 set. 2018.

EMBRAPA. Adoção de ILPF chega a 11,5 milhões de hectares. *In*: PORTAL EMBRAPA. **Notícias**. Brasília: Embrapa, 2016. Disponível em: <http://twixar.me/Hj61>. Acesso em: 5 set. 2018.

FACCO, G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LAVEZO, A.; SCHABARUM, D. E.; CHAVES, G. G.; SILVEIRA, D. L. Basic experimental unit and plot sizes for fresh matter of sunn hemp. **Ciência Rural**, v. 48, n. 5, e20170660, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2Oy9aoe>. Acesso em: 5 set. 2018.

FEDERER, W. T. Experimental design. NewYork: MacMillan, Company. 1955. 544 p. *In*: VIANA, A. E. S.; SEDIYAMA, T.; CECON, P. R.; LOPES, S. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 58-63, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/35pEVps>. Acesso em: 15 set. 2018.

FERREIRA, A. D.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; MELOTTO, A. M. Arranjos espaciais sobre a produtividade e o potencial de prestação de serviços ambientais do eucalipto em sistemas integrados. *In*: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA A PRODUÇÃO PECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 7., 2012, Belém. **Anais [...]**. Belém: [s. n.], 2012. p. 1-5. Disponível em: <https://bit.ly/35g5k9g>. Acesso em: 2 out. 2017.

GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; QUEIROZ, L. R.; SIMÕES, E. P.; CAMPANHA, M. M. Integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. *In*: SISTEMA AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: Embrapa, 2013. p. 1-17. Disponível em: <https://bit.ly/2M5ksPj>. Acesso em: 4 jan. 2018.

GREGOLIN, F. S. **Estoques de carbono e nitrogênio do solo manejado em sistemas de integração**. 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/322u219>. Acesso em: 21 dez. 2018.

HENRIQUES NETO, D.; SEDIYAMA, T.; SOUZA, M. A.; CECON, P. R.; YAMANAKA, C. H.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIANA, A. E. S. Tamanho de parcelas em experimentos com trigo irrigado sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 517-524, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/2OL6nIL>. Acesso em: 29 out. 2018.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; HELDWEIN, A. B.; FEIJÓ, S.; ROS, C. A. Técnicas experimentais para tomateiro tipo salada sob estufas plásticas. **Ciência Rural**, v. 28, n. 2, p. 193-197, 1998. Disponível em: <https://bit.ly/2VwMvKp>. Acesso em: 10 set. 2018.

LÚCIO, A. D.; MELLO, R. M.; STORCK, L.; CARPES, R.H.; BOLIGON, A.A.; ZANARDO, B. Estimativa de parâmetros para o planejamento de experimentos com a cultura do pimentão em área restrita. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 766-770, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/2nyiptz>. Acesso em: 10 set. 2018.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, supl. esp., p.133-146, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2yXIZgV>. Acesso em: 9 out. 2017.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. **Eucaliptos em sistemas agroflorestais**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. 331 p.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta: 1: estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 46 p. (Documentos, 110). Disponível em: <https://bit.ly/2IFkHhP>. Acesso em: 20 dez. 2017.

MARTIN, T. N.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; STORCK, L.; ZABOT, L.; UHRY, D.; SANTI, A. L.; STEFANELO, C.; LUCCA FILHO, O. A. Tamanho ótimo de parcela e número de repetições em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 271-276, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/326fSWK>. Acesso em: 14 set. 2018.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 esp., p. 1024-1031, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/314NoLq>. Acesso em: 28 agosto 2019.

NABUURS, G. J.; MOHREN, G. M. J. Modeling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, CA, v. 25, p. 1157-1172, 1995. In: SILVA, I. M.; ARAKAKI, K. K. Carbono florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 4, p. 91-105, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/35nHEzR>. Acesso em: 10 jan. 2018.

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (ed.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges**. London: Springer, 2011. pt. 1, p. 145-162. Disponível em: <https://bit.ly/2MsUeVY>. Acesso em: 22 dez. 2017.

OLIVEIRA, E. B.; RIBASKI, J.; ZANETTI, E. A.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 57, p. 45-56, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/35oGg03>. Acesso em: 3 jan. 2018.

OLIVEIRA, P. P. A. A pecuária em sistemas integrados e as mudanças climáticas. **Revista Opiniões**, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2Mtfngt>. Acesso em: 9 out. 2017.

PARANAIBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira Biometria**, v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2MqNPdQ>. Acesso em: 18 set. 2018.

PEREIRA, M. **Produtividade forrageira, degradabilidade ruminal do capim-piatã e desempenho de bovinos de corte em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2p6Tr56>. Acesso em: 3 jan. 2018.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global**. São Carlos: : Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 42 p. (Documentos, 72). Disponível em: <https://bit.ly/2nuXN5o>. Acesso em: 5 jan. 2018.

PIVA, J. T. 2012. 96 f. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub trópico brasileiro**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/2AYjm1p>. Acesso em: 10 out. 2017.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 57 p. (Documentos, 100). Disponível em: <https://bit.ly/35nJwIY>. Acesso em: 18 nov. 2017.

RIBEIRO, M. **MS é referência nacional no sistema de integração lavoura-pecuária**. G1 [Portal], 25 set. 2017. Disponível em: <https://glo.bo/35rehwO>. Acesso em: 5 jan. 2018.

RODRIGUES, C. O. D.; ARAÚJO, S. A. C.; VIANA, M. C. M.; ROCHA, N. S.; BRAZ, T. G. S.; VILLELA, S. D. J. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. **Acta Scientiarum**, v. 36, n. 2, p. 129-136, 2014. Disponível em <https://bit.ly/33o6fTd>. Acesso em: 6 abr. 2019.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p.1349-1356, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2q1apOS>. Acesso em: 10 fev. 2019.

SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; VALADÃO, D.; OLIVEIRA, F. L. R.; MACHADO, V. D.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. F. *Brachiaria* physiological parameters in agroforestry systems. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, e20160150, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/312QHCT>. Acesso em: 26 mar. 2019.

SANTOS, G. O.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; FACCO, C. B. G.; TOEBE, M.; KLEINPAUL, J. A.; NEU, I. M. M.; STEFANELLO, R. B. Tamanho de parcela e número de repetições em feijão guandu. *Ciência Rural*, v. 46, n. 1, p. 44-52, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2IFL4V3>. Acesso em: 10 set. 2018.

SILVA, R. L.; XAVIER, A.; LEITE, H. G.; PIRES, I. E. Determinação do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente de correlação intraclasse e da análise visual em testes clonais de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 27, n. 5, p. 669-676, 2003. Disponível em: <https://bit.ly/33iwZEF>. Acesso em: 21 set. 2018.

SILVA, I. M.; ARAKAKI, K. K. Carbono florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 4, p. 91-105, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/35nHEzR>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/2nzqA97>. Acesso em: 30 out. 2017.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/2IEOkjh>. Acesso em: 3 jan. 2018.

STORCK, L. **Estimativa para tamanho e forma de parcela e número de repetições para experimentos com milho (*Zea mays* L.)**. 1979. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979. In: ZANON, M. L. B.; STORCK, L. Tamanho ótimo de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith em dois estádios dedesenvolvimento. **Cerne**, v. 6, n. 2, p.104-111, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/2nDevjg>. Acesso em: 22 set. 2018.

VIANA, M. C. M.; FREIRE, F. M.; ALVARENGA, R. C.; QUEIROZ, D. S.; PAULA, M. H. C.; REZENDE, I. F. Monitoramento do estoque de carbono no solo no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em área de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: [ABMS], 2016. p. 556-558. Disponível em: <https://bit.ly/2OBzNIU>. Acesso em: 5 jan. 2018.

VIANA, M. C. M.; GUIMARÃES, C. G.; ALBERNAZ, W. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; GONTIJO NETO, M. M.; MACEDO, G. A. R.; FONSECA, R. F. Produção de forragem de sorgo, sob diferentes arranjos do eucalipto, no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM, p. 2248-2252. Disponível em: <https://bit.ly/2OC3aLs>. Acesso em: 6 nov. 2017.

VIANA, M. C. M.; VENTURIM, R.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBERNAZ, W. M. ALVARENGA, R. C. **Integração lavoura-pecuária-floresta no estado de Minas Gerais**. Sete Lagoas: EMATER, [2013]. 13 p. (Texto avulso). Disponível em: <https://bit.ly/2VChc16>. Acesso em: 20 jan. 2019.

VIANA, A. E. S.; SEDIYAMA, T.; CECON, P. R.; LOPES, S. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 58-63, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/35pEVps>. Acesso em: 15 set. 2018.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/313JJOf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

VARELLA, A. C.; SILVA, V.; RIBASKI, J.; SOARES, A. B.; MORAES, A.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C.; BARRO, R. S. Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no Sul do Brasil. *In*: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. (ed. tec.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul brasileira**. Brasília. Embrapa trigo, 2012. cap. 15, p. 435-460. Disponível em: <http://twixar.me/jp61>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ZANON, M. L. B.; STORCK, L. Tamanho ótimo de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith em dois estádios de desenvolvimento. **Cerne**, v. 6, n. 2, p.104-111, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/2nDevjg>. Acesso em: 22 set. 2018.

4 ARTIGO

4.1 Artigo 1- Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril

Este artigo foi elaborado conforme normas do periódico European Journal of Soil Science.

Variabilidade espacial e representatividade amostral do carbono e parâmetros fisiológicos em sistema silvipastoril
Spatial variability and sample representativeness of carbon and physiological parameters in a silvopastoral system

J.C. OLIVEIRA ^(a), A.M.AZEVEDO ^(b), J.M. RIBEIRO ^(a), I.C. FREITAS ^(a), R.F. DIAS ^(c), I.A.R. SILVA ^(c), A.C.S. DUARTE ^(c), P.F. MELO ^(c), A.L.C. VELOSO ^(d), L.A.FRAZÃO ^{(b)*}.

^(a) Estudante de pós-graduação ICA-UFMG, Montes Claros, MG, ^(b) Professor da Universidade Federal de Minas Gerais ICA /UFMG; Montes Claros, MG; ^(c) Estudante de graduação da Universidade Federal de Minas Gerais ICA/UFMG; Montes Claros, MG; (d) Professor das Faculdades Integradas do Norte de Minas - FUNORTE, Montes Claros, MG, Brasil.

Autor correspondente: L. A. FRAZÃO. E-mail: lafrazao@ica.ufmg.br

RESUMO

As metodologias de coleta para avaliação da dinâmica do carbono orgânico no sistema solo-planta precisam ser aperfeiçoadas em função da variabilidade espacial. O objetivo deste estudo foi verificar a variabilidade espacial do solo e parâmetros fisiológicos de capim-marandu e propor o número ótimo de amostras a serem coletadas em sistema silvipastoril implantado no sudeste do Brasil. As coletas foram realizadas em sistema composto por eucalipto consorciado com capim-marandu. Quatro transectos foram avaliados dentro do sistema (844m²), o qual foi dividido em 2 lados (A e B), e as amostras retiradas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para avaliação do carbono orgânico total (COT) e carbono microbiano do solo (Cmic). Os parâmetros fisiológicos avaliados foram condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E) e taxa fotossintética (A). Para verificar a diferença entre os lados do transecto foi aplicado o teste t pareado e a melhor estratégia de amostragem foi avaliada pelos métodos da máxima curvatura modificado (MMCM) e de Hatheway. Constatou-se que há variabilidade espacial dentro do sistema quanto ao COT, Cmic e parâmetros fisiológicos. De acordo com o MMCM, a retirada de 11 amostras (6 no renque e 5 na aleia) são suficientes para avaliação do Cmic e do COT, enquanto para a planta são necessárias 13 amostragens para caracterizar o sistema. De acordo com o método de Hatheway, considerando um experimento em DBC com 5 tratamentos e 4 repetições, com 8 amostragens na aleia e 3 no renque é possível distinguir tratamentos com DMS inferior a 23% para COT e 71% para Cmic, enquanto que 23 avaliações com IRGA dentro da parcela possibilita a distinção de tratamentos com DMS inferior a 80% para os parâmetros fisiológicos estimados.

Palavras-chave: Amostragem de solo, capim-marandu, eucalipto, método de Hatheway, MMCM.

ABSTRACT

Collection methods for evaluation of organic carbon dynamics in the soil-plant system need to be refined in accordance with spatial variability. The aim of this study was to ascertain the spatial variability of the soil and physiological parameters of 'Marandu' palisadegrass and propose the optimal number of samples to collect in a silvopastoral system in the Southeast of Brazil. Samples were collected in a system composed of eucalyptus intercropped with 'Marandu' palisadegrass. Four transects were evaluated within the system (844 m²), which was divided into 2 sides (A and B), and samples were removed at the depths of 0-5, 5-10, and 10-20 cm for evaluation of total organic carbon (TOC) and soil microbial biomass carbon (Cmic). The physiological parameters evaluated were stomatal conductance (Gs), transpiration rate (E), and photosynthetic rate (A). To determine the difference between the sides of the transect, the paired t-test was applied, and the best sampling strategy was evaluated by the modified maximum curvature method (MMCM) and the Hatheway method. There is spatial variability within the system in regard to TOC, Cmic, and physiological parameters. According to the MMCM, the removal of 11 samples (6 in the row and 5 in the alley) are sufficient for evaluation of Cmic and TOC, whereas for the plant, 13 samples are necessary to characterize the system. According to the Hatheway method, considering an experiment in randomized block design (RBD) with 5 treatments and 4 replications, with 8 samples in the alley and 3 in the row, it is possible to distinguish treatments with differentiate close mean values of treatments (LSD) lower than 23% for TOC and 71% for Cmic, whereas 23 evaluations within the plot allows treatments with LSD lower than 80% to be distinguished for the physiological parameters estimated.

Keywords: Eucalyptus, Hatheway method, marandu grass, MMCM, soil sampling.

Introdução

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma tecnologia de produção preconizada pelo “Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação as Mudanças Climáticas” visando a consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC” , permitindo a retenção do carbono no solo e na biomassa dos diferentes componentes vegetais utilizados (Da Conceição *et al.*, 2017). De acordo com Rodrigues *et al.* (2014) a ILPF é um sistema de produção sustentável, que associa atividades pecuárias, florestais e agrícolas numa mesma área, cultivados em rotação, sucessão ou consorciado.

Os sistemas integrados são essenciais quando o objetivo é uma produção sustentável, buscando contornar os desafios de décadas de produção agrícola com práticas de elevado impacto ambiental, quando se visa reduzir a erosão e perda de fertilidade dos solos, mitigar emissões dos gases de efeito estufa, reduzir o assoreamento dos cursos de água, prevenir a poluição do solo e da água, aumentar o carbono orgânico do solo e a biomassa microbiana, melhorar a qualidade do solo (Morais *et al.*, 2014; Oliveira *et al.* 2016). No entanto as interações da criação de animais com culturas anuais e componentes arbóreo, pode gerar heterogeneidade na disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana ao longo do sistema, tornando esse sistema dinâmico e complexo evidenciando a necessidade mais estudos para avaliar esses sistemas (Guillot *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2016).

De acordo com Borges *et al.* (2018), os parâmetros do solo são afetados pela deposição de excremento dos animais e pisoteamento principalmente próximo as árvores, uma vez que esses buscam as sombras. Além do mais, percebem-se ao longo dos sistemas diferentes níveis de sombreamento e materiais residuais, decorrentes das espécies presentes no sistema, e este fator influencia diretamente nos teores de carbono no solo (Salton *et al.*, 2011; Moraes *et al.*, 2014).

Diferentes metodologias de amostragem são verificadas na literatura, as quais em sua maioria são estabelecidas de forma aleatória (Viana *et al.*, 2016 ; Guillot *et al.*, 2019; Borges *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2016 e Behling *et al.* , 2016). Logo, verifica-se que para realizar uma correta mensuração do potencial de acúmulo de carbono no sistema solo-planta em sistemas integrados de produção é necessário o estabelecimento da representatividade amostral no solo e na planta, que avaliem a variabilidade do carbono e a produtividade das forrageiras cultivadas em função do arranjo e das espécies utilizados (Colman *et al.*, 2013; Albrecht & Kandji , 2003; Nair *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2016).

Assim, objetivou-se com este trabalho verificar a existência de variabilidade espacial do carbono orgânico total e microbiano do solo e parâmetros fisiológicos de capim-marandu e propor o número ótimo de amostras a serem coletadas em sistema silvipastoril a partir de um experimento implantado no sudeste do Brasil.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na Fazenda da Barra (16°38'44,02" S e 43°42'43,77" O), localizada no município de Francisco Sá, norte do estado de Minas Gerais, Brasil com altitude média de 590 metros (Figura 1). As médias de precipitação anual e temperatura dos últimos dez anos foram de 887 mm e 28° C, respectivamente (INMET, 2018). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, clima Tropical de Savana, com invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas elevadas.

O local de estudo encontra-se em área de transição entre o Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual, e o solo foi caracterizado como Cambissolo Háplico Eutrófico, textura média (Embrapa, 2014). Antes da implantação da área experimental, o solo foi cultivado com pastagem de *Brachiaria brizanta* cv. Marandu em processo de degradação. Em outubro de 2012 foi realizada aplicação de glifosato para dessecação da pastagem e retirada de plantas espontâneas presentes na área.

O sistema silvipastoril avaliado foi implantado em dezembro de 2012 em uma área de 1,6 hectares, com plantio do híbrido *Eucalipto urograndis* (*E.grandis* x *E. urophylla*) com a semeadura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) nas entrelinhas nos dois anos iniciais de condução. Em 2014, o sorgo foi substituído por pastagem de capim-marandu (*Brachiaria brizanta* cv. Marandu). O arranjo espacial utilizado na implantação do sistema foi composto por renques duplos de eucalipto (2 x 3 m) com espaçamento de 14 m entre renques (aleias). Área utilizada para pastejo de aproximadamente 50 bezerros mestiços, de vacas leiteiras, na idade entre 02 e 12 meses.

Amostragem do solo

Em janeiro de 2018 foram selecionados quatro transectos dentro da área útil (884 m²) ocupada pelo sistema silvipastoril, com 6 m de distância entre si. As amostragens de solo foram realizadas na área compreendida entre dois renques de eucalipto (sentido transversal), totalizando 20 pontos de coleta em 20 metros de comprimento, onde as amostras foram retiradas linearmente com espaçamento de um metro, tomando como referência a primeira árvore de eucalipto do renque esquerdo, totalizando 20 pontos de amostragem até o renque direito (Figura 2a). O sistema silvipastoril foi dividido em dois lados, onde o lado A foi ocupado pelo renque esquerdo e lado esquerdo da aleia e o lado B pelo renque direito e lado direito da aleia. As amostras de solo foram coletadas em trincheiras de 40 x 40 x 30 cm nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, para as análises de dois indicadores de qualidade do solo: carbono orgânico total (COT) e carbono microbiano (Cmic).

Amostragem do componente forrageiro

Para a amostragem do capim-marandu, foram selecionados quatro transectos dentro da área útil (884 m²) com 6 m de distância entre si, e as avaliações fisiológicas das plantas de capim-

marandu foram realizadas dentro aleia (14 m), no sentido transversal, com espaçamento de um metro entre cada tomada de dados, totalizando 15 pontos de amostragem por transecto (Figura 2b). As avaliações foram realizadas entre oito e onze horas da manhã, sendo cada medida realizada na porção mediana da segunda folha mais jovem da planta e completamente expandida.

Preparo das amostras de solo e determinação do COT e Cmic

Após a coleta de solo, as amostras de terra, para a determinação do carbono orgânico total, foram secas ao ar, homogeneizadas, passadas por peneira com malha de 2 mm, finamente moídas e, posteriormente, passadas em peneiras de 0,150 mm, para a determinação dos teores de C do solo por oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988).

Para a determinação do carbono microbiano do solo, foi realizada a catação manual de pequenos fragmentos vegetais das amostras. Determinou-se a umidade inicial das amostras e, em seguida, houve adição de água até atingir 60% na capacidade de campo, umidade ideal para a proliferação dos organismos do solo. A determinação foi realizada pelo método de fumigação-extração, de acordo com Vance *et al.* (1987) e adaptado por Silva *et al.* (2007), utilizando clorofórmio isento de etanol. Foram pesados, para cada subamostra, 10 g de solo em dois tubos de falcon, uma parte contendo solo, para as amostras fumigadas e outra para as não fumigadas. O Cmic foi obtido pela diferença entre o C das amostras fumigadas e não fumigadas, aplicado fator de correção que representa a eficiência da extração.

Avaliações fisiológicas das plantas

As avaliações fisiológicas das plantas de capim-marandu foram realizadas, por meio da determinação da condutância estomática (G_s) ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), a taxa transpiratória (E) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e taxa de assimilação de dióxido de carbono (CO_2) ou taxa fotossintética (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), utilizando o analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo LCpro-SD.

Metodologia estatística

Todas as análises estatísticas foram feitas no software R V. 3.5, por meio de funções do pacote “*stats*” ou por programação. Para comparar os lados direito e esquerdo do sistema silvipastoril quanto às variáveis de solo e planta, aplicou-se o teste t pareado entre os pontos equidistantes de ambos os lados, com o auxílio da função “*t.test*”.

Para o carbono orgânico e microbiano do solo, em cada uma das profundidades, cada amostra representou uma unidade básica (UB), resultando em 12 UB em cada um dos dois reques e 56 UB na aleia. O número de UB por parcela na aleia ($X= 1, 2, 4, 7, 8, 14, 28$ e 56) foi dado pelas 12 combinações dos quatro transectos (1, 2 e 4) e número de amostras por transecto (1, 2, 7 e 14). Já para a análise do ranque, considerou-se um como continuidade do outro, somando oito transectos, com três amostragens em cada um. Desta forma, o número de

UB por parcela (1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 e 24) foi dado por todas as doze combinações do número de transectos (1, 2, 4 e 8) e de amostras por transecto (1, 2, e 3).

Para os dados fisiológicos, cada amostra representou uma UB. O número de UB por parcela para essas variáveis (X= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 e 60) foi obtido pelas 12 combinações dos quatro transectos (1, 2, 4) e 15 amostragens (1, 3, 5 e 15) em cada um.

Para determinar o número ótimo de amostras, a fim de representar o ranque e a aleia, para as variáveis respostas, utilizou-se o método de máxima curvatura modificada, ajustando-se o modelo: $CV_i = A/X_i^B + e_i$, em que o CV_i é o coeficiente de variação estimado para o i-ésimo tamanho amostral, sendo A e B coeficientes do modelo de regressão, X_i o número de UB associado ao i-ésimo tamanho amostral e e_i o erro experimental associado ao i-ésimo tamanho amostral. Para facilitar a estimação dos coeficientes de regressão, linearizou-se o modelo por meio da transformação logarítmica. Posteriormente, os coeficientes foram estimados pelo método dos quadrados mínimos, com o auxílio da função "lm". O ponto de máxima curvatura (Meier & Lessman, 1971) foi obtido pela função:

$$X_{\text{ótimo}} = \left(\frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{(B + 2)} \right)^{\left(\frac{1}{2B+2} \right)}$$

Em que $X_{\text{ótimo}}$ é o tamanho ótimo de parcela; A e B são os coeficientes de regressão do modelo ajustado.

Para se estimar o número ótimo de repetições, em função do número de amostras por parcela, para experimentos no delineamento em blocos casualizados, utilizou-se o método de HATHEWAY (1961):

$$X = \sqrt[B]{\frac{2(t_1 + t_2)^2 CV^2}{d^2 r}}$$

Em que X = tamanho da parcela; r = número de repetições requerido para detectar diferenças de d unidades; d = diferença verdadeira entre as duas médias de tratamentos expressas em porcentagem da média; CV = estimativa do coeficiente de variação em porcentagem para uma unidade básica; t_1 = valor crítico de t para testes de significância (bilateral a 5%) e t_2 = valor crítico de t correspondente a 2 (1-P), em que P é igual a 0,80 e B = índice de heterogeneidade do solo. Para a melhor apresentação do número ótimo de amostras dentro da parcela, foram feitos gráficos de contorno, para o tamanho da parcela, em função do número de repetições e de tratamentos com o auxílio do software Sigma Plot V.11.

Resultados e discussão

Variabilidade espacial transversal de COT e Cmic no sistema silvipastoril

Os teores de COT do solo decresceram com o aumento da profundidade, em ambos os lados

do sistema silvipastoril avaliado (Figura 3), com teores médios de 23,26 e 14,92 g kg⁻¹ para as camadas 0-5 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente. Assim como proposto por Silva *et al.* (2016) e Howlett *et al.* (2011), o acúmulo de carbono orgânico em profundidade foi favorecido com os renques de eucalipto dentro do sistema. Esse resultado está relacionado à deposição de material orgânico na camada superficial do solo. De acordo com Salton *et al.* (2011), os dejetos dos animais e o material senescente das espécies dentro do sistema contribuem para o aumento dos teores de C no solo, especialmente, na camada superficial. Esses resultados corroboram com os obtidos por Tumwebaze *et al.* (2012); Howlett *et al.* (2011); Lim *et al.* (2018); Sales *et al.* (2017) e Loss *et al.* (2014).

Considerando o transecto avaliado no sistema silvipastoril, os teores de COT apresentaram padrão similar entre os lados do sistema (Figura 3a), exceto para a profundidade de 0-5 cm ($p < 0,05$), com teores de 21,43 e 20,5 g kg⁻¹ para os lados B e A. Moreira *et al.* (2018) constataram que a orientação das linhas (Leste-Oeste) e a pequena inclinação da área, assim como observado no presente estudo, permitem que a radiação solar seja distribuída homoganeamente na área, culminando em menores diferenças entre os atributos químicos do solo nos anos iniciais de condução dos sistemas integrados de produção. De acordo com os resultados encontrados no presente estudo, os efeitos podem ser visualizados com o crescimento do componente florestal, uma vez que aumentará o sombreamento na área.

Os teores de Cmic também diminuiram com o aumento da profundidade (Figura 3b) com médias entre 349,14 e 129,31 mg kg⁻¹ para as camadas 0-5 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente. Esse fato está relacionado à maior quantidade de matéria orgânica, na camada superficial do solo, fonte de energia para os seus microorganismos. O carbono da biomassa microbiana é sensível às mudanças ambientais do solo (Acosta- Martínez *et al.* 2004; Oliveira *et al.* 2016), à diversidade de espécies nos sistemas de ILPF (como plantas anuais, forrageiras e o eucalipto) e contribui para a maior quantidade de carbono, nas camadas superficiais, pois a maior parte da distribuição radicular está localizada na superfície do solo (Nunes *et al.*, 2011; Sales *et al.*, 2017). Esses resultados também corroboram com aqueles obtidos nos estudos de Acosta- Martínez *et al.* (2004) e Oliveira *et al.* (2016).

Em função do transecto analisado, a posição de avaliação do Cmic apresentou padrão de distribuição diferente dentro do sistema silvipastoril, tendo médias maiores de Cmic mg kg⁻¹ nos pontos mais próximos da primeira árvore de eucalipto do renque, para todas as profundidades avaliadas (Figura 3b). Isso ocorre pelo fato de a maior deposição de resíduos próximos às árvores aumentarem com o passar dos anos de implantação do experimento (Oelbermann & Voroney, 2007).

Observou-se diferença nos teores de Cmic entre os lados avaliados no sistema silvipastoril, com maiores médias no lado A em todas as profundidades avaliadas (Figura 3). Os teores decresceram de 288,8 até 237,9 mg kg⁻¹ para o lado A e de 219,0 (0-5 cm) até 177,6 (10-20 cm) para o lado B.

Os resultados mostraram que há um padrão de resposta diferente, para a análise do COT (0-5 cm) e Cmic (0-20 cm), nos dois lados do sistema silvipastoril. Assim, é possível inferir que,

para esses dois indicadores de qualidade do solo, em sistema silvipastoril, será necessário maior número de amostras para representar a área de estudo. Além disso, como os lados não apresentam o mesmo padrão quanto à distribuição de COT e Cmic, as amostras deverão ser retiradas de ambos os lados avaliados, representando todo o transecto de 20 metros. Para uma amostragem representativa, deve-se fazer a coleta de amostras de solo no espaço ocupado pelos renques e pela aleia.

Ao avaliar a distribuição horizontal dos estoques de COT dentro do sistema ILPF (Eucalipto consorciado com soja no verão e milho e *B. Brizantho* inverno), Isernhagen *et al.* (2017) observaram tendência de maiores valores de COT no solo, na área voltada para a face Sul, quando comparada com a face Norte, os estoques corresponderam, em média, a 73,1 Mg ha⁻¹ e 69,3 Mg ha⁻¹, respectivamente.

De acordo com Moreira *et al.* (2018), o componente florestal dentro do sistema pode interferir na disponibilidade de nutrientes para as demais culturas. Essa disponibilidade difere, de acordo com a distância da árvore e espera-se que as maiores mudanças, nas propriedades do solo, ocorram nas distâncias próximas às árvores, pela maior deposição de serapilheira e da exposição quanto à radiação solar, fatores que podem interferir na decomposição do resíduo vegetal depositado.

Essa diferença entre os lados pode estar relacionada à interceptação luminosa dentro dos sistemas integrados de produção. Mesmo utilizando estratégia de plantio do eucalipto, no sentido Leste/Oeste, haverá, ao longo das épocas do ano, mudanças nos níveis de sombreamento, para as plantas forrageiras, de forma que um dos lados avaliados terá maior número de horas de captação luminosa. Assim, de acordo com Moreira *et al.* (2018), o monitoramento dessas mudanças dentro do sistema deve ser realizado em diferentes distâncias e em ambos os lados da linha de plantio do componente arbóreo.

Esses resultados diferem dos encontrados por Moreira *et al.* (2018), que encontraram uma semelhança entre as faces expostas ao sol para a maioria dos atributos químicos avaliados. As poucas diferenças observadas nos valores médios das faces (Norte e Sul), bem como das distâncias, não mostraram importantes mudanças práticas, em termos de conteúdo de nutrientes, que poderiam estar associados com a exposição solar. Esses resultados indicam que a influência das árvores e da face exposta ao sol à radiação solar é homogênea, nos dois lados das linhas, nos primeiros anos de implantação do ILPF, o que pode variar com o aumento da idade de implantação do sistema.

Há uma grande heterogeneidade da radiação solar no sub-bosque de sistemas silvipastoris. Pode-se presumir que quanto mais próximo o local de amostragem com a fileira de árvores, maior será o nível de sombreamento. O maior valor da taxa de irradiância absoluta, observado entre os arranjos de espaçamento, no lado das fileiras de árvores, foi equivalente a 58,36% do valor obtido no centro do espaçamento entre fileiras. Os resultados fornecidos pela análise atual indicaram diferenças relevantes, na quantidade e qualidade da radiação solar, no sub-bosque do sistema silvipastoril, pelo arranjo espacial das árvores e locais de amostragem, mesmo quando o plantio do componente florestal foi realizado no sentido Leste-Oeste

(Rodrigues *et al.* 2014).

Variabilidade espacial de parâmetros fisiológicas no sistema silvipastoril

Os parâmetros fisiológicos avaliados para o capim-marandu (A, E e Gs) foram maiores na posição central da aleia (seis e sete metros de distância do renque de eucalipto), em ambos os lados do sistema silvipastoril. Os valores de A nesses pontos foram 13,3 e 14,4 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Figura 4); de E foram 4,16 e 4,82 $\text{mols H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 4); e Gs foram 0,13 e 0,15 $\text{mols m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4). Nesses locais, em ambos os lados avaliados, há maior interceptação luminosa pela gramínea, enquanto os pontos mais próximos aos renques de eucalipto (0, 1 e 2 m) apresentaram menores médias dos parâmetros fisiológicos avaliados (Figuras 4).

Assim como observado neste estudo, Behling *et al.* (2016) também verificaram que quanto menor a distância entre o ponto de coleta e a árvore de eucalipto, maiores são as alterações fisiológicas no crescimento da cultura da aleia, uma vez que, em seu estudo, o sombreamento contribuiu para a redução da taxa fotossintética, transpiratória e da abertura dos estômatos na cultura da soja.

Os resultados obtidos por Santos *et al.* (2017), em sistema agrossilvipastoril, identificaram que os menores espaçamentos do eucalipto afetaram os parâmetros fisiológicos. Para os autores, a diminuição da intensidade luminosa e a alta densidade e maior proximidade das plantas forrageiras às árvores de eucalipto podem limitar a taxa fotossintética da planta, especialmente, para as plantas C4.

Em análise comparativa entre os lados do sistema silvipastoril, não foi verificada diferença entre eles, para A, E e Gs ($p>0,05$) (Figura 4), de forma que a coleta pode ser realizada, em qualquer um dos lados entre os dois renques, a partir da primeira árvore de eucalipto. Esses resultados foram similares àqueles encontrados por Behling *et al.* (2016), em coletas realizadas a 3, 6, 10 e 15 metros de distância do renque central de eucalipto, uma vez que encontraram similaridade entre os lados, comparando o lado Norte e Sul ($p>0,05$).

Avaliando a interceptação luminosa sobre as forrageiras, Domingues (2015) percebeu que essa se diferenciou entre os diferentes pontos de distância da linha de eucalipto de acordo com o crescimento da espécie.

Proposta de planejamento experimental para a amostragem de solo e planta em sistema silvipastoril

Método de máxima curvatura modificado para os parâmetros avaliados

Utilizando o método de máxima curvatura modificado (MMCM), para o parâmetro COT, verificou-se a necessidade de coleta de, pelo menos, sete amostras, para representar o sistema silvipastoril, sendo que três amostragens devem ser realizadas na aleia e quatro dentro

no renque duplo de eucalipto (Tabela 1). Valor inferior ao encontrado por Feijó *et al.* (2006), que, para determinar o número ótimo de amostras, para avaliar parâmetros químicos do solo, antes e após o cultivo de abobrinha, encontraram a necessidade de onze pontos amostrais, para representar as variáveis analisadas para o solo em pousio e nove pontos amostrais após cultivos.

Os resultados encontrados para o Cmic mostraram que a amostragem, no sistema silvipastoril, ficará representativa, quando houver coleta de, no mínimo, onze amostras de solo: seis amostras nos renques e cinco amostras na aleia (Tabela 1). Esse valor foi equivalente ao encontrado por Feijó *et al.* (2006), para a análise química em solo em pousio. O carbono microbiano apresenta uma grande variabilidade dentro do sistema, pois as espécies, a intensidade luminosa, os animais e seus resíduos interferem na quantidade e distribuição espacial dos microorganismos no solo. A biomassa microbiana é sensível aos componentes presentes no solo e às operações de manejo para a condução das culturas (Nicodemo, 2009; Xavier *et al.* 2006).

Já os resultados encontrados, para a resposta fisiológica do capim-marandu, mostraram que a amostragem no sistema silvipastoril ficará representativa, quando houver dados de coleta de A, E e Gs, no mínimo, de 13, 11 e 12, respectivamente, ou seja, pelo menos 13 plantas devem ser amostradas (Tabela 1).

Os valores encontrados, para a amostragem representativa dos parâmetros avaliados, no presente estudo, de acordo com o MMCM, são superiores aos valores coletados por Colman *et al.* (2013), Assis *et al.* (2015) e Behling *et al.* (2016). Neste sentido, o fato do sistema silvipastoril ser heterogêneo favorece o aumento no número de amostras para aperfeiçoar sua representatividade. Silva *et al.* (2003), para avaliar os testes clonais de eucalipto, por meio do método de máxima curvatura modificado, constataram que o modelo tende a aumentar o número de plantas exigidos na parcela com o incremento da idade, uma vez que esse fator aumenta a variação dentro da parcela.

Mesmo o modelo sendo o mais indicado, para a definição do tamanho ótimo de parcelas, segundo De Carvalho *et al.* (2018), Guarçoni *et al.* (2017) e Storck *et al.* (2006), ele tende a subestimar o tamanho ótimo de parcelas, para alguns parâmetros de avaliação, porque aumenta o número de repetições, para manter a mesma precisão em igual área experimental. Neste sentido, Palomino *et al.* (2000) alegam ser necessário distribuir o mesmo número de amostras, em duas ou três linhas, para maior precisão experimental que distribuir em uma única linha.

Os valores de CV% para o Cmic e os parâmetros da planta foram altos, provavelmente, pelo fato de estarem relacionados à maior variabilidade dessas características. Para que ocorra a diminuição do CV%, é necessário que aumente o número de amostras, no entanto chegará a um ponto que esse aumento já não terá mais influência significativa sobre o CV% (Sousa *et al.*, 2016; Lúcio *et al.* 2004).

Método de Hatheway

Foi estimado o número ótimo de amostras pelo método de Hatheway, considerando-se dois delineamentos experimentais: inteiramente casualizado (DIC) e em blocos ao acaso (DBC). Em razão da similaridade entre os resultados, nesses dois delineamentos, apenas os resultados referentes ao DBC foram discutidos, os resultados do DIC são apresentados nos Apêndices A e B.

Para a escolha do número ideal de amostras, a serem coletadas no sistema silvipastoril, consideraram-se as três profundidades amostradas (0-5, 5-10 e 10-20 cm), escolhendo-se o número em função da profundidade que apresentou maior variabilidade dos dados.

Os resultados encontrados para o COT do solo sob sistema silvipastoril indicam que é possível diferenciar médias próximas de tratamentos (DMS de 20%) com o uso de tamanhos de parcela não muito grande (Figuras 5A a 5F). A profundidade de 5-10 cm, que apresentou maior variação dos dados (Figuras 5B e 5E), necessita de apenas seis amostras na aleia e 10 amostras no ranque, caso se utilizem cincotratamentos e quatro blocos, totalizando 16 amostras por parcela. Caso não se almeje essa grande precisão, na comparação dos tratamentos, pode-se utilizar um número bem inferior de amostras. Para o DMS de 40% da média, estimativas de tamanho de parcela inferior a uma unidade foram estimados para o COT pelo método de Hatheway (APÊNDICE C).

Já o Cmic, que apresentou coeficiente de variação com, aproximadamente, três vezes o verificado para o COT (Tabela 1), destacou-se a necessidade de um número muito grande de amostragens por parcela, caso se queira grande precisão na comparação dos tratamentos. Esse fato se justifica pelas variações climáticas, em função da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo (Souza *et al.*, 2010; Tracy & Zhang, 2008). Considerando-se a camada de solo que apresentou maior variabilidade (10-20 cm) e uma DMS de 40% entre os tratamentos, para a amostragem na aleia, será necessária a coleta de oito amostras, considerando-se o uso de cinco tratamentos e 10 blocos (Figura 5I). Já para o ranque, o número de amostras coletadas seria de, no mínimo, seis pontos (Figura 5L). Esse alto número de blocos, para se alcançar essa DMS, indica a grande dificuldade existente, caso se queiram realizar experimentos com alta precisão, na distinção de tratamentos com médias próximas. Caso se almeje a instalação de um experimento com menor precisão, se forem utilizados cinco tratamentos e quatro repetições (profundidade 5-10 cm), seriam necessárias 27 amostragens na aleia e 13 no ranque, para se alcançar um DMS de 60%, ou quatro amostragens na aleia e dois no ranque, para se alcançar um DMS de 70%, totalizando seis amostras por parcela (APÊNDICE D).

Os parâmetros fisiológicos da planta, utilizando o analisador de gás por infravermelho (IRGA), demandam maior número de amostragens, pelo seu grande CV (Tabela 1) e variabilidade na área experimental (Figura 4). As estimativas de CV, para essas características, foram aproximadamente duas vezes maiores que as encontradas para o Cmic e seis vezes maiores que os encontrados para o COT. Assim, durante a avaliação do capim-marandu

cultivado em sistema silvipastoril e considerando-se uma DMS de 70% entre os tratamentos (Figuras 6A, 6B e 6C), o melhor arranjo obtido, em função do parâmetro de maior variabilidade (A), foi de 10 amostragens e sete blocos, para um experimento com cinco tratamentos (Figura 6A). Caso se utilizem cinco tratamentos e quatro blocos, almejando-se discernir tratamentos com DMS de 70% da média, seriam necessários 41, 9 e 31 amostragens, para A, E e GS, respectivamente. Para o DMS de 80% da média, o número de amostragens necessárias diminuem para 23, 5 e 16 para A, E e GS, respectivamente (APÊNDICE E).

De acordo com os resultados obtidos, para estimar o número de amostras, em sistema silvipastoril pelo método de Hatheway, foi possível inferir que há grande dificuldade em se conduzir experimentos de alta precisão, em sistemas silvipastoris, em especial, para o Cmic e parâmetros fisiológicos, visto que o incremento do CV% evidencia aumento do erro experimental, portanto menor precisão (Leite *et al.*, 2006). Tomando como exemplo o Cmic (Figuras 5I e 5L), se forem considerados cinco tratamentos e 10 blocos, o método indica a necessidade de coleta de, pelo menos, oito amostras na aleia e seis no renque, o que implicaria abertura de 140 minitrincheiras, para a amostragem de solo dentro da área experimental, a fim de se conseguir diferenciar tratamentos com DMS de 40% da média.

Quanto maior o CV maior será o número de amostras, chegando a tamanhos impraticáveis. Igualmente acontece com o aumento do rigor, para a precisão do experimento, com redução da diferença mínima a ser detectada entre os tratamentos, que também gera aumentos severos no número de amostras. Já o aumento do número de repetições e tratamentos não possui tanta influência (Oliveira *et al.*, 2011).

A precisão experimental, para variadas configurações de experimentos, pode ser verificada nas Figuras 5, 6, Apêndices C, D e E, ou estimadas, a partir dos dados apresentados na Tabela 1 e a fórmula de Hatheway apresentada no material e métodos. De forma geral, no planejamento de experimento em DBC com cinco tratamentos, quatro repetições, com 11 amostras (minitrincheiras) por parcela (oito na aleia e três no renque), é possível distinguir tratamentos com DMS inferiores a 23% para COT e 71% para Cmic. Para os dados fisiológicos, com cinco tratamentos, quatro repetições e 23 avaliações com o IRGA dentro da parcela, é possível distinguir os tratamentos com DMS inferiores a 80, 56 e 74% da média para A, E e GS.

Conclusões

Há variabilidade espacial dentro do sistema silvipastoril quanto ao COT, Cmic avaliados, sendo que, para a correta avaliação do solo nesse sistema, deve-se realizar a amostragem dentro das aleias e dos renques, considerando a influência dos componentes forrageiros e florestais.

Para os parâmetros fisiológicos (A, E e Gs) avaliados no capim-marandu, houve similaridade entre os lados dos transectos avaliados, porém houve heterogeneidade dentro da aleia, de forma que os valores aumentaram com o aumento da distância da árvore de eucalipto e, conseqüentemente, com o aumento da interceptação luminosa.

De acordo com o método de máxima curvatura modificado, 11 amostragens de solo (seis no ranque e cinco na aleia) são suficientes, para caracterizar um sistema silvipastoril, quanto ao Cmic e COT, enquanto, para as plantas de capim-marandu, 13 amostragens dentro da aleia são necessárias para avaliar os parâmetros fisiológicos.

De acordo com o método de Hatheway, para a instalação de um experimento em DBC com cinco tratamentos, quatro repetições, oito amostragens na aleia e três no renque, é possível distinguir tratamentos com DMS inferiores a 23% para COT e 71% para Cmic. Para essa mesma configuração de experimento, 23 avaliações do capim-marandu dentro da aleia possibilitam a distinção de tratamentos com DMS inferiores a 80% para os parâmetros fisiológicos estimados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo nº 430097/2016-6); Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES / Brasil (Processo nº 88881.068513/2014-01) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Fapemig (PPM-00617-18). Agradecemos à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo auxílio para a publicação do artigo. Agradecemos, também, à Fazenda da Barra pelo apoio logístico oferecido durante a realização do estudo.

Referências

- Albrecht, A., & Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture Ecosystems Environment*, 99, 15–27.
- Assis, C. R., Stone, L. F., Medeiros, J.C., Madari, B.E., Oliveira, J.M., & Wruck, F. J. (2015). Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta Paula. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 309–316.
- Behling, M., Carvalho, G., Ferreira, M. J., Gonçalves, V.S., Farias, J. B., Camargo, D., & Gregolin, F.S. (2016, october). Aspectos fisiológicos da soja em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *X Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*. Congresso realizado por Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, MT.
- Borges, W.L.B., Calonego, J.C., Rosolen, C.A. (2018). Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*.

- Colman, B.A., Salton, J.C., & Mercante, F.M. (2013, July - August). Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Congresso realizado por Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Florianópolis, SC.
- Da Conceição, M.C.G., Matos, E.S., Bidone, E.D., De A. R. Rodrigues, R., & Cordeiro, R.C. (2018). Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest System in the Brazilian Amazon Region. *Agricultural Sciences*. Vol. 8, 904-913.
- De Carvalho, F. W.A., Nunes, G. H.S., Bezerra Neto, F., Barros Júnior, A.P., de Lima, J. S.S., Khan, A. S., ... Moreira, J. N. (2018). Optimum plot size of planting and bio-agro-economic revenues from arugula-carrot intercropping systems in a semi-arid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Vol. 90(4), 3493-3512.
- Domingues, M. S. (2015). *Produtividade da forragem de milho e capim-marandu integrados em sistema agrossilvipastoril com eucalipto*. [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista – UNESP]. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124502/000835553.pdf?sequence=1>>.
- EMBRAPA (2014) Sistema brasileiro de classificação de solos, 4rd ed. *Embrapa Solos*, Brasília, pp 376.
- Feijó, S., Storck, L., Lúcio, A.D., & Lopes, S.J. (2006). Heterogeneidade do solo e de tamanho de amostra antes e após cultivos com abobrinha italiana em estufa plástica. *Ciência Rural*, Santa Maria. 36. 1744-1748.
- Guarçoni, R.C., Souza, J.L., Favarato, L.F., Angeletti, M.P., & Bahiense, D.V. (2017). Determinação do tamanho ótimo de parcela experimental para experimentos com repolho utilizando simulação e métodos de estimação. *Revista Científica Intellecto*, Venda Nova do Imigrante, ES, Brazil. 2.79-87.
- Guillot, E., Hinsinger, P., Dufour, L. Roy, J., & Bertrand, I. (2019). With or without trees: Resistance and resilience of soil microbial communities to drought and heat stress in a Mediterranean agroforestry system. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 129. p. 122-135.
- Howlett, D.S., Mosquera-Losada, M.R., Nair, P.K.R., Nair, V.D., & Rigueiro-Rodriguez, A. (2011). Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. *Journal of Environmental Quality*. 40. 825–832.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2019). *BDMEP: banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa*.
- Isernhagen, E.C.C., Rodrigues, R.A.R., Diel, D., Matos, E.S., & Conceição, M.C.G. (2017). Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de Transição Cerrado/Amazônia. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 5. 515-521.
- Leite, M.S.O., Peternelli, L.A., & Barbosa, M.H.P. (2006). Effects of plot size on the estimation of genetic parameters in sugarcane families. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 6. 40-46.

- Lim, S.S., Baah-Acheamfour, M., Choi, W.J., Arshada, M.A., Fatemi, F., Banerjee, S., ...Chang, S.X. (2018). Soil organic carbon stocks in three Canadian agroforestry systems: From surface organic to deeper mineral soils. *Forest Ecology and Management*. 417 103–109.
- Loss, A., Ribeiro, E.C., Pereira, M.G., & Costa, E.M. (2014). Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. *Bioscience Journal*, Uberlândia. 30 5. 1347-1357.
- Lúcio, A.D., Mello, R.M. Storck, L., Lorentz, L.H., Carpes, R.H., & Boligon, A.A. (2004). Size and form of plots for the culture of the Italian pumpkin in plastic greenhouse. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil)*. 61. 457-461.
- Moraes, A., Carvalho, P. C. F., Lustosa, S. B. C., Lang, C. R., & Deiss, L. (2014). Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. *Revista Ciência Agronômica*. 45(5spe), 1024-1031.
- Moreira, G.M., Neves, J.C.N., Magalhães, C.A.S., Farias Neto, A.L., Sauer, G., & Silva, J.F.V., Fernandes, R.B.A. (2018). Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. *Revista Árvore*. 42(4) : e 420405.
- Nair, P.K.R., Nair, V.D., Kumar, B.M., & Haile, S.G. (2009). Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science Policy*. 12, 1099–1111.
- Nicodemo, M.L.F. (2009). Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris. (Documento 93). *EMBRAPA Pecuária Sudeste*. São Carlos, SP. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/696813/1/PROCIDoc93MLFN2009.00411.pdf>.
- Nunes, R.S., Lopes, A.A.C., Sousa, D.M.G., & Mendes, I.C. (2011). Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35. 1407-1419.
- Oelbermann, M., & Voroney, R.P. (2007). Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. *Ecological engineering*. 29.342–349.
- Oliveira, G. M.V., Mello, J.M., Lima, R.R., Scolforo, J.R.S., & Oliveira, A.D. (2011). Tamanho e forma de parcelas experimentais para *Eremanthus erythropappus*. *CERNE*, Lavras. 17. 327-338.
- Oliveira, W.R.D., Ramos, M.L.G., Carvalho, A.M., Coser, T.R., Silva, A.M.M., Lacerda, M.M., ... Pulrolnik, K. (2016). Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 51: 1501-1510.

- Palomino, E. C., Ramalho, M. A. P., & Ferreira, D. F. (2000). Tamanho de amostra para avaliação de famílias de meios-irmãos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF. 35. 1433-1439.
- R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria.
- Rodrigues, C.O.D., Araújo, S.A.C., Viana, M.C.M., Rocha, N.S., Braz, T.G.S., & Villela, S.D.J. (2014). Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá. 36. 129-136.
- Sales, A., Silva, A. R., Veloso, C. A. C., Carvalho, E. J. M., & Miranda, B. M. (2017). Efeito do componente florestal em sistema ILPF nos atributos físicos e carbono orgânico de um Latossolo Amarelo. *IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo*, Viçosa- MG.
- Salton, J.C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Fabrício, A.C., Macedo, M.C.M., & Broch, D.L. (2011). Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília. 46. 1349-1356.
- Santos, M. V., Ferreira, E. A., Valadão, D. Oliveira, F.L.R., Machado, V.D., Silveira, R. R., & Souza, M. F. (2017). Brachiaria physiological parameters in agroforestry systems. *Ciência Rural*, Santa Maria .47: 05, e 20160150.
- Silva, E.E., Azevedo, P.H.S., & De-Polli, H. (2007). Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). *Embrapa Agrobiologia*.
- Silva, R.L., Xavier, A., Leite, H.G., & Pires, I.E. (2003). Determinação do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente de correlação intraclasse e da análise visual em testes clonais de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa-MG. 27. 669-676.
- Silva, A.R., Sales, A., & Veloso, C.A.C. (2016). Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *Revista AGROTEC* . 96-104.
- Sousa, R.P., Silva, P.S.L., & Assis, J.P. (2016). Tamanho e forma de parcelas para experimentos com girassol. *Revista Ciência Agronômica*. 47. 683-690.
- Souza, E. D., Costa, S.E.V.G.A. , Anghinoni, I., Lima, C.V.S. , Carvalho, P.C.F., & Martins, A. P. (2010). Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* . 34. 79-88.
- Storck, L., Martin, T.N., Lúcio, A.D., Lopes, S.J., Santos, P.M., & Carvalho, M.P. (2006). Tamanho ótimo de parcela em experimentos com milho relacionado a metodologias. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 5. 48-57.
- Tracy, B. F., & Zhang, Y. (2008). Soil Compaction, Corn Yield Response, and Soil Nutrient Pool Dynamics within an Integrated Crop-Livestock System in Illinois. *Crop Science*. 48. 1211-1218.
- Tumwebaze, S.B., Bevilacqua, E., Briggs, R., & Volk, T. (2012). Soil organic carbon under a linear simultaneous agroforestry system in Uganda. *Agroforestry Systems*. 84, 11–23.

- Vance, E.D., Brookes, P.C., & Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 703–707.
- Xavier, F.A.S., Maia, S.M.F., Oliveira, T.S., & Mendonça, E.S. (2006). Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba – CE. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 30: 47-258.
- Yeomans, J.C., & Bremner, J.M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476. Disponível em <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

TABELAS

TABELA 1 Estimativas dos coeficientes de regressão A e B do modelo potência, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV%) e ponto de máxima curvatura (X_c), para a estimativa do número ótimo de amostras, a fim de representar um sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil

Profundidade (cm)	A	B	R^2	CV%	X_c
COTAleia (0-5m)	9.549	-0.217	0.868	9.815	1.52
COTAleia (5-10m)	10.549	-0.323	0.913	12.128	2.219
COTAleia (10-20m)	14.193	-0.508	0.98	12.907	3.449
COTRenque (0-5m)	11.166	-0.585	0.481	10.258	3.092
COTRenque (5-10m)	13.245	-0.501	0.392	13.399	3.276
COTRenque (10-20m)	14.627	-0.539	0.516	13.88	3.586
CmicAleia (0-5m)	32.072	-0.211	0.402	36.427	4.038
CmicAleia (5-10m)	31.739	-0.163	0.341	36.374	3.331
CmicAleia (10-20m)	38.486	-0.246	0.638	40.044	5.161
CmicRenque (0-5m)	34.671	-0.562	0.216	31.056	6.304
CmicRenque (5-10m)	30.273	-0.641	0.413	34.172	5.828
CmicRenque (10-20m)	34.577	-0.282	0.229	38.401	5.101
A	103.543	-0.456	0.473	75.669	12.955
E	77.886	-0.469	0.439	53.902	10.664
Gs	88.51	-0.417	0.461	66.254	11.58

LEGENDAS DAS FIGURAS

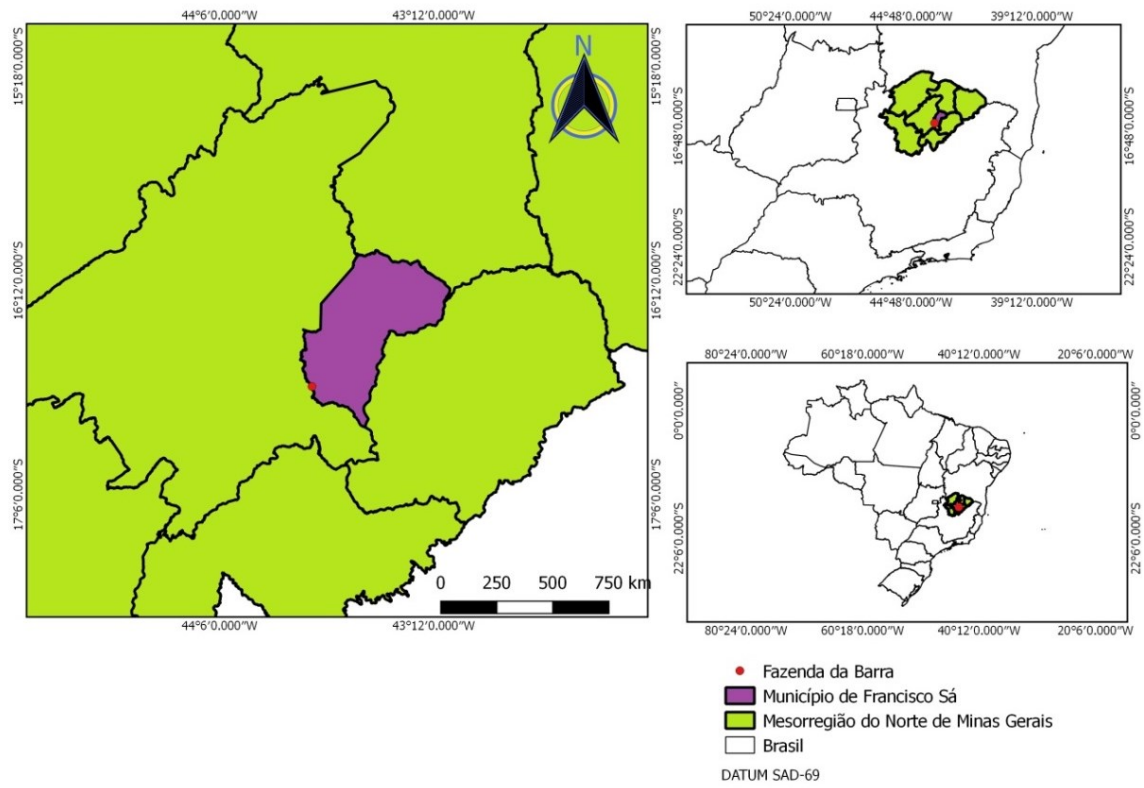


FIGURA 1 Representação geográfica da área experimental com sistema silvipastoril. Francisco Sá, Norte do estado de Minas Gerais, Brasil

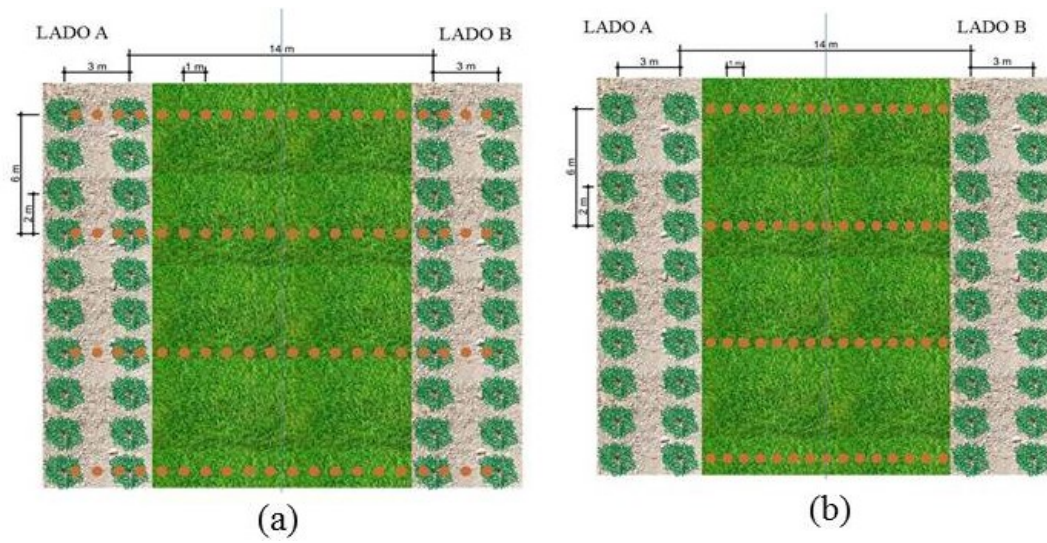


FIGURA 2 Esquema demonstrativo da amostragem realizada no solo (a) e de parâmetros fisiológicos (b) em sistema silvipastoril com eucalipto e capim marandu. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil

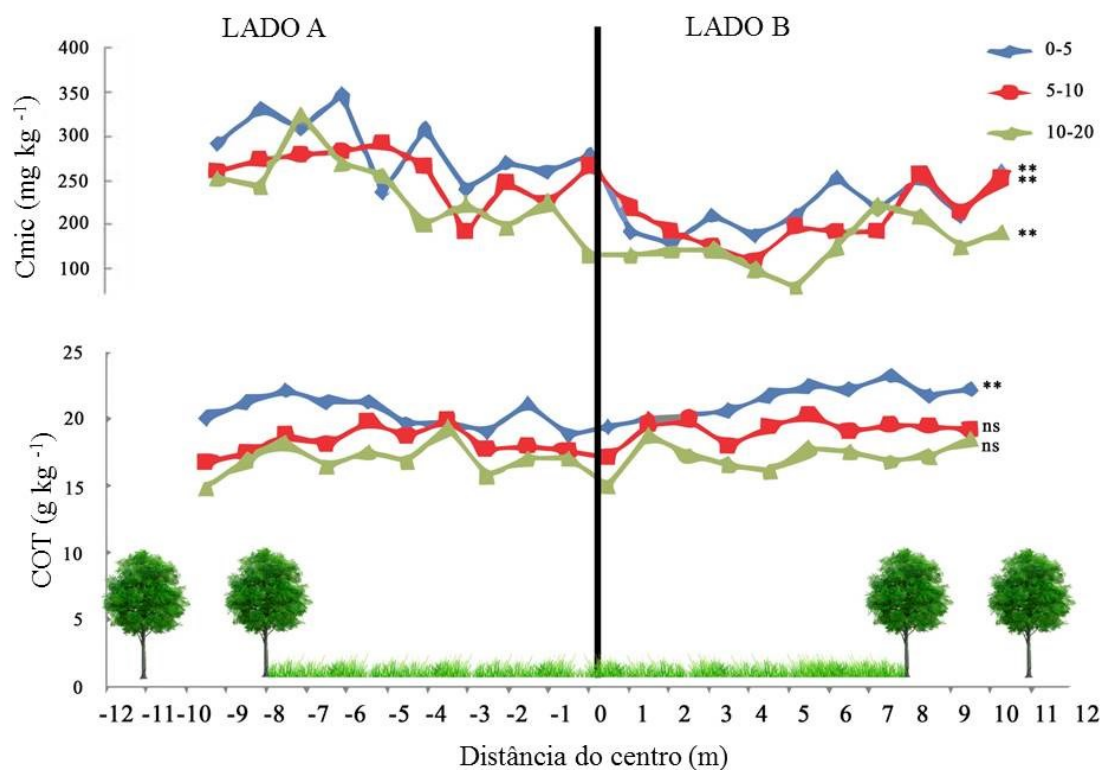


FIGURA 3 Variabilidade transversal dos teores de COT (g kg^{-1}) e de Cmic (mg kg^{-1}) estimados, em três profundidades, em sistema silvopastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Linhas seguidas de ^{ns} indicam a similaridade entre o lado direito e esquerdo do sistema silvopastoril pelo teste t pareado ao nível de 5% de significância. Linhas seguidas de ** indicam diferença entre o lado direito e esquerdo do sistema silvopastoril pelo teste t pareado ao nível de 1% de significância

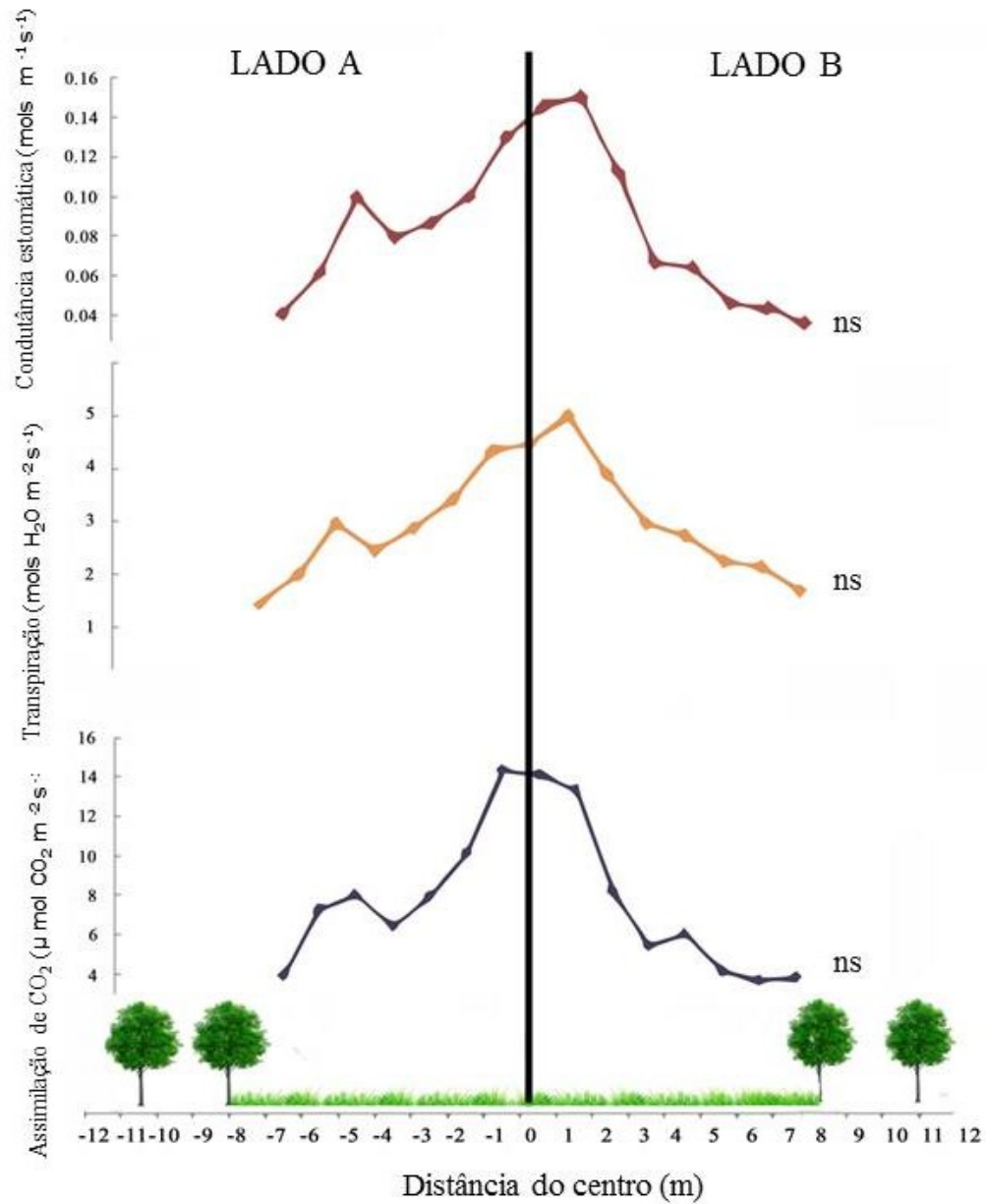


FIGURA 4 Variabilidade transversal da Taxa de assimilação de CO₂, Taxa de transpiração e Condutância estomática em sistema silvipastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Linhas seguidas de ^{ns} indicam a similaridade entre o lado direito e esquerdo do sistema silvipastoril pelo teste t pareado ao nível de 5% de significância

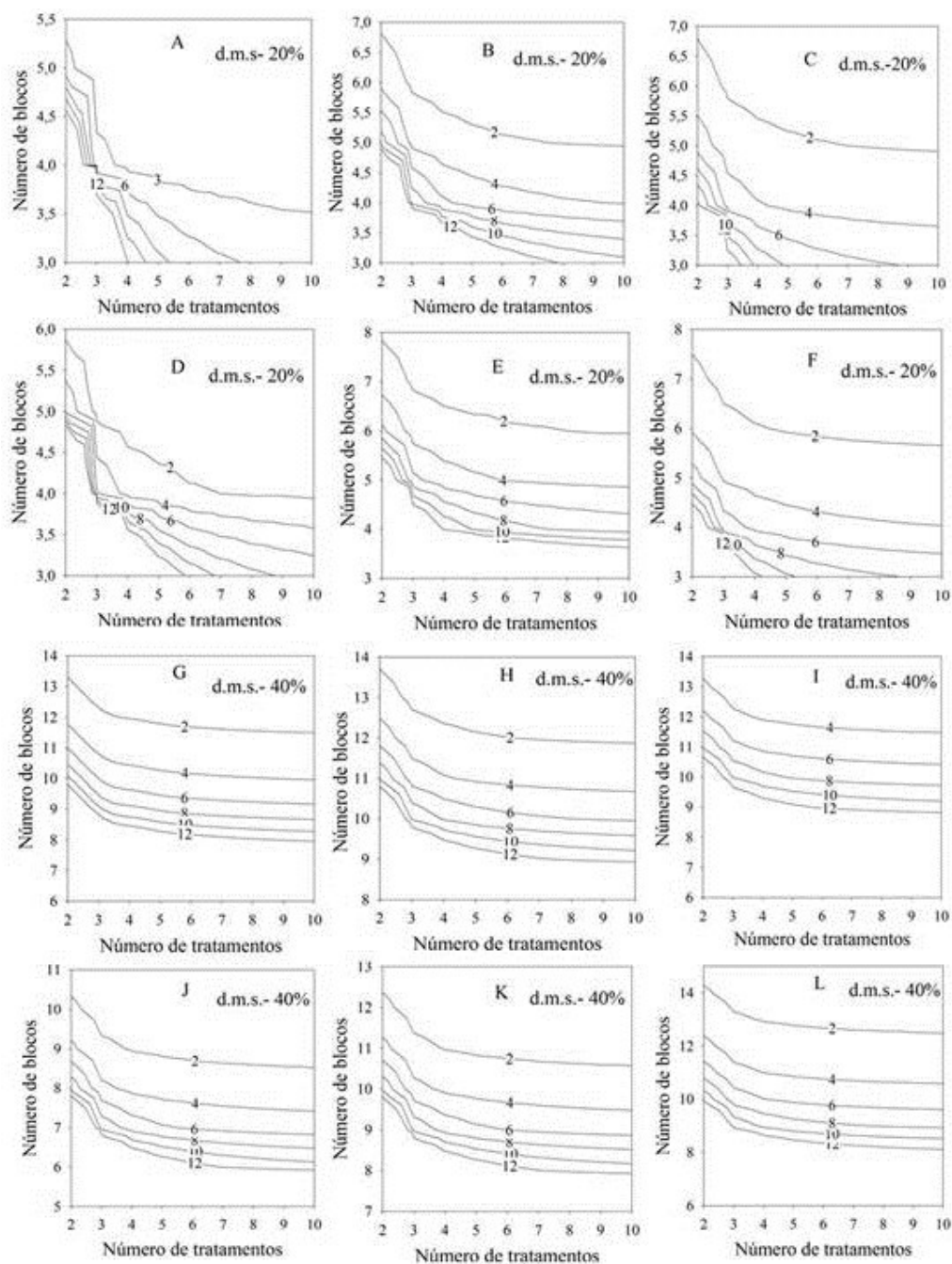


FIGURA 5 Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, considerando o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos para o COT, na aleia nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e do renque nas profundidades de 0-5 cm (D), 5-10 cm (E), 10-20 cm (F) e, para o Cmic, na aleia nas profundidades de 0-5 cm (G), 5-10 cm (H), 10-20 cm (I) e do renque nas profundidades de 0-5 cm (J), 5-10 cm (K), 10-20 cm (L) em sistema silvopastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil

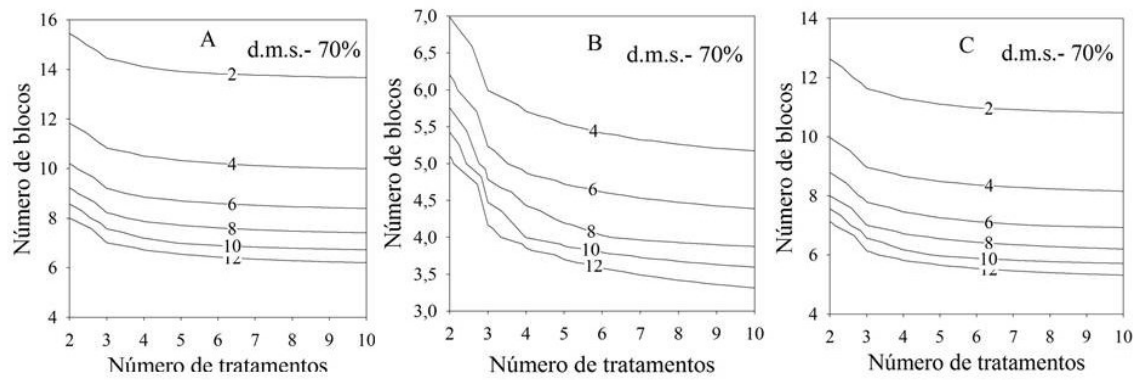


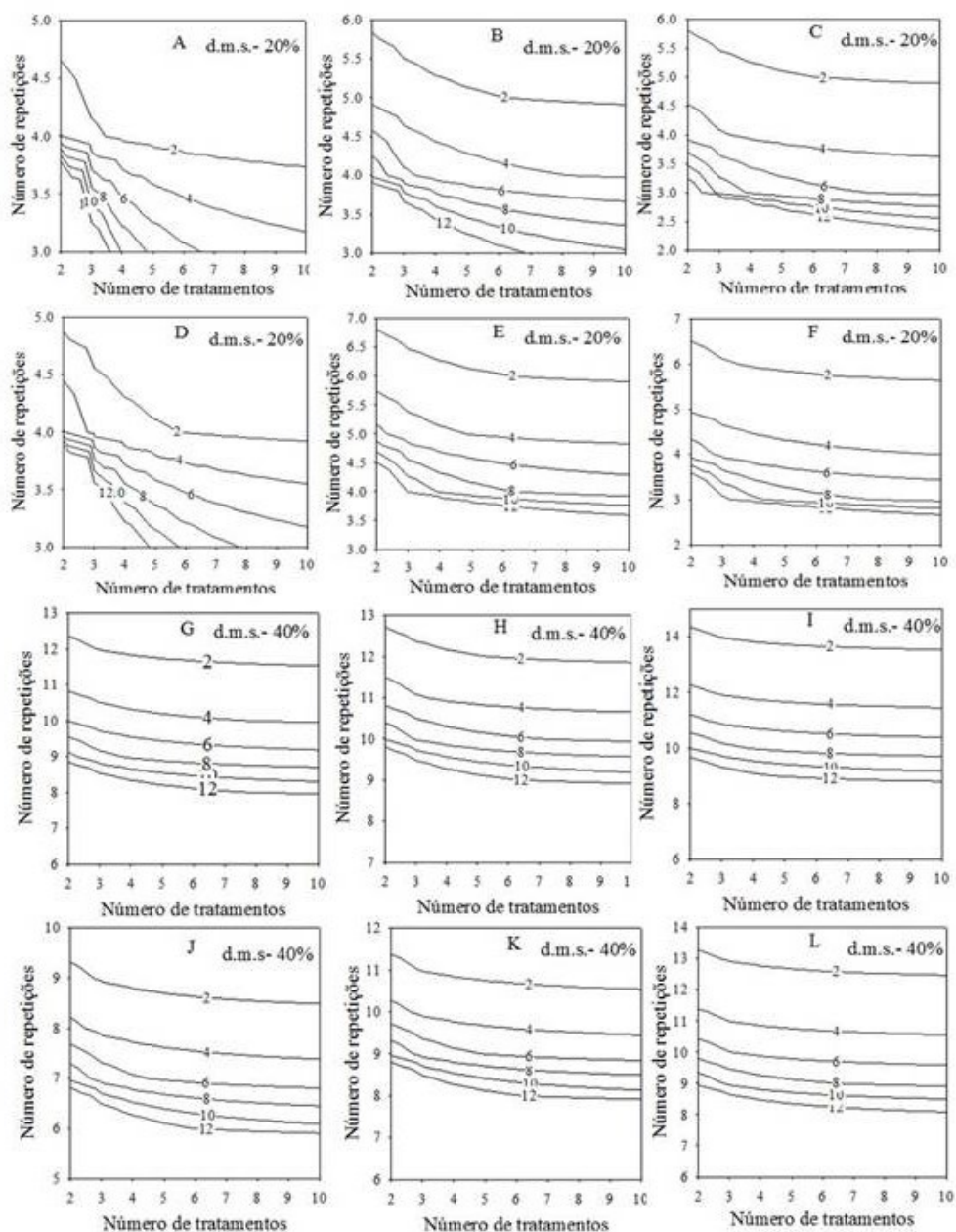
FIGURA 6 Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, considerando o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para a assimilação de CO₂ (A), taxa transpiratória (B) e Condutância estomática (C) em capim-marandu. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

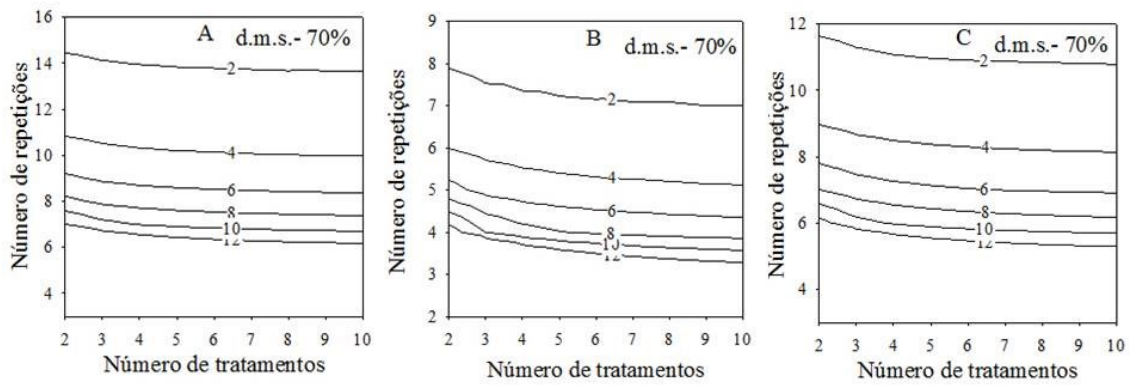
Sob o ponto de vista prático, ao contrário do que foi observado para o COT do solo, deve-se aumentar o esforço amostral, para a determinação do Cmic do solo e dos parâmetros fisiológicos de capim-marandu cultivado em sistema silvipastoril. Assim, para a instalação de experimentos com alta precisão, só é possível fazer a comparação dos resultados desses parâmetros entre os tratamentos com o aumento do número de coletas de solo e de planta.

Os resultados do presente estudo evidenciam a necessidade de aumento do número de coletas, para representar a variabilidade espacial do sistema silvipastoril com renque duplos e 14 m de espaçamento, para compor a aleia. Porém estudos com diferentes configurações e arranjos de culturas podem ser realizados, para averiguar a variabilidade espacial existente dentro dos sistemas e, assim, definir outras metodologias de amostragem.

APÊNDICE A – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DIC, em função do número de tratamentos e de repetições, para o COT, na aleia, nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e do renque, nas profundidades de 0-5 cm (D), 5-10 cm (E), 10-20 cm (F) e para o Cmic, na aleia, nas profundidades de 0-5 cm (G), 5-10 cm (H), 10-20 cm (I) e do renque, nas profundidades de 0-5 cm (J), 5-10 cm (K), 10-20 cm (L), em sistema silvopastoril. No Norte do estado de Minas Gerais, Brasil



APÊNDICE B – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DIC, em função do número de tratamentos e de repetições, para a assimilação de CO₂ (A), taxa transpiratória (B) e Condutância estomática (C) em capim-marandu. No Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil



APÊNDICE C – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para o COT, na aleia e no renque, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm

Prof.	Trat.	Blo.	COT Aleia			COT Renque		
			DMS20	DMS40	DMS60	DMS20	DMS40	DMS60
0-5 cm	3	3	39.50	0.07	0.00	59.36	0.10	0.00
	5	3	9.77	0.02	0.00	14.67	0.02	0.00
	10	3	4.87	0.01	0.00	7.32	0.01	0.00
	3	4	4.04	0.01	0.00	6.07	0.01	0.00
	5	4	1.70	0.00	0.00	2.55	0.00	0.00
	10	4	1.08	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00
	3	5	0.93	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00
	5	5	0.49	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00
	10	5	0.36	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
5-10 cm	3	3	43.49	0.60	0.05	80.56	1.11	0.09
	5	3	17.04	0.23	0.02	31.57	0.43	0.04
	10	3	10.69	0.15	0.01	19.81	0.27	0.02
	3	4	9.43	0.13	0.01	17.47	0.24	0.02
	5	4	5.27	0.07	0.01	9.76	0.13	0.01
	10	4	3.91	0.05	0.00	7.23	0.10	0.01
	3	5	3.51	0.05	0.00	6.51	0.09	0.01
	5	5	2.31	0.03	0.00	4.27	0.06	0.00
	10	5	1.85	0.03	0.00	3.42	0.05	0.00
10-20 cm	3	3	14.08	0.92	0.19	18.74	1.23	0.25
	5	3	7.76	0.51	0.10	10.33	0.68	0.14
	10	3	5.77	0.38	0.08	7.68	0.50	0.10
	3	4	5.33	0.35	0.07	7.09	0.46	0.09
	5	4	3.68	0.24	0.05	4.89	0.32	0.07
	10	4	3.04	0.20	0.04	4.04	0.26	0.05
	3	5	2.84	0.19	0.04	3.78	0.25	0.05
	5	5	2.17	0.14	0.03	2.89	0.19	0.04
	10	5	1.89	0.12	0.03	2.51	0.16	0.03

Prof.- Profundidade; Trat.- Tratamento; Blo.- Bloco; COT- Carbono orgânico total.

APÊNDICE D – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para o Cmic, na aleia e no renque, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm

Prof.	Trat.	Blo.	Cmic Aleia			Cmic Renque		
			DMS40	DMS60	DMS70	DMS40	DMS60	DMS70
0-5 cm	3	3	15523.77	330.86	76.60	3416.07	72.81	16.85
	5	3	3686.50	78.57	18.19	811.23	17.29	4.00
	10	3	1802.89	38.42	8.89	396.73	8.45	1.96
	3	4	1487.04	31.69	7.34	327.23	6.97	1.61
	5	4	608.55	12.97	3.00	133.91	2.85	0.66
	10	4	384.05	8.18	1.89	84.51	1.80	0.42
	3	5	326.43	6.96	1.61	71.83	1.53	0.35
	5	5	171.03	3.64	0.84	37.63	0.80	0.18
	10	5	121.84	2.60	0.60	26.81	0.57	0.13
5-10 cm	3	3	254640.56	1765.89	266.78	118442.63	821.38	124.09
	5	3	39754.25	275.69	41.65	18491.15	128.23	19.37
	10	3	15780.09	109.43	16.53	7339.90	50.90	7.69
	3	4	12304.32	85.33	12.89	5723.19	39.69	5.99
	5	4	3879.99	26.91	4.06	1804.73	12.51	1.89
	10	4	2140.92	14.84	2.24	995.82	6.90	1.04
	3	5	1735.39	12.03	1.82	807.19	5.59	0.84
	5	5	753.01	5.22	0.79	350.25	2.43	0.36
	10	5	485.90	3.37	0.51	226.01	1.57	0.23
10-20 cm	3	3	8235.65	307.00	87.91	5862.92	218.55	62.58
	5	3	2410.00	89.84	25.72	1715.67	63.95	18.31
	10	3	1307.68	48.74	13.96	930.93	34.70	9.93
	3	4	1109.18	41.35	11.84	789.62	29.43	8.42
	5	4	516.83	19.26	5.51	367.93	13.71	3.93
	10	4	348.72	12.99	3.72	248.25	9.25	2.65
	3	5	303.48	11.31	3.24	216.05	8.05	2.30
	5	5	174.66	6.51	1.86	124.34	4.63	1.32
	10	5	130.71	4.87	1.39	93.05	3.47	0.99

Prof.- Profundidade; Trat.- Tratamento; Blo.- Bloco; Cmic- Carbono microbiano

APÊNDICE E – Número ótimo de amostras estimado pelo método de Hatheway, para o DBC, em função do número de tratamentos e de blocos, para os parâmetros fisiológicos do capim-marandu

Prof.	Trat.	Blo.	A		E		GS	
			DMS70	DMS80	DMS70	DMS80	DMS70	DMS80
	3	3	183.09	101.95	37.42	21.17	156.74	82.68
	5	3	94.23	52.47	19.61	11.09	75.87	40.02
	10	3	67.72	37.70	14.22	8.04	52.88	27.89
	3	4	61.95	34.49	13.04	7.37	47.98	25.31
	5	4	41.00	22.83	8.72	4.93	30.57	16.12
	10	4	33.15	18.45	7.09	4.01	24.23	12.78
	3	5	30.75	17.12	6.59	3.73	22.32	11.77
	5	5	22.81	12.70	4.93	2.79	16.11	8.49
	10	5	19.50	10.86	4.23	2.39	13.58	7.16

Prof.- Profundidade; Trat.- Tratamento; Blo.- Bloco; A- Taxa de assimilação de CO₂; E- Taxa transpiratória; Gs- Condutância estômatica.