

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO
SOLO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA E
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

TESE DE DOUTORADO

Francine Damian da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E
DA PRODUTIVIDADE DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Francine Damian da Silva

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DAMIAN DA SILVA, FRANCINE
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA
PRODUTIVIDADE DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA / FRANCINE DAMIAN DA SILVA.-
2015.
86 p.; 30cm

Orientador: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Intensidades de pastejo 2. Agricultura de
Precisão 3. Índice de manejo do carbono 4. Índice de
resiliência 5. Balanço de carbono I. JORGE CARNEIRO
AMADO, TELMO II. Título.

**Universidade Federal De Santa Maria
Centro De Ciências Rurais
Programa De Pós Graduação Em Engenharia Agrícola**

A comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Tese de Doutorado

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA
PRODUTIVIDADE DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

elaborada por
Francine Damian da Silva

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola.

Comissão Examinadora

Telmo Jorge Carneiro Amado (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ/CCGL-TEC)

Mastrângelo Enivar Lanzaova, Dr. (UERGS)

Naylor Bastiani Perez, Dr. (EMBRAPA/CPPSUL)

Jardes Bragagnolo, Dr. (URI/CER)

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2015.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha família, minha mãe pelo apoio incondicional, por estar sempre ao meu lado, em todas as situações, minhas irmãs, pelo companheirismo de sempre e meu pai pelo conhecimento compartilhado. A vocês devo absolutamente tudo que sou. Obrigada.

AGRADECIMENTOS

Durante toda essa caminhada sempre contei com o auxílio de Deus e agora, como nos demais instantes de minha vida, não poderia deixar de agradecer-lhe por sempre ter estado presente, seja me auxiliando com bons pensamentos e inspirações, seja afagando meus cabelos em momentos de solidão e desânimo. Agradeço a concretização de mais um sonho, mais uma etapa cumprida em minha vida.

Ao Grupo de Pesquisa Ecologia do Pastejo pela oportunidade de realizar meu trabalho de Doutorado, no seu experimento de longa duração, situado na Fazenda do Espinilho.

Ao Grupo de Pesquisa Manejo e Conservação do Solo pelos conhecimentos compartilhados, as colegas que conheci neste grupo que acompanharam minha caminhada, e que de alguma maneira contribuiram para a realização deste sonho.

Ao orientador professor Telmo Amado, pela criteriosa orientação em cada etapa deste trabalho, agradeço ao incentivo e dedicação dispensados. Aos demais professores, por mostrarem o caminho do conhecimento e da sabedoria possibilitando-me vislumbrar novos horizontes.

Aos colaboradores da Fazenda Espinilho e da Granja da família Soldera, por todo apoio na realização do experimento. Aos bolsistas que foram muito importantes na realização das coletas a campo e análises de laboratório.

Obrigada muito sincero pelo apoio do colega Raí Schwalbert e Geovane Reimche, nas análises estatísticas e na finalização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola que me acolheu como aluno e a CAPES, pela bolsa de doutorado.

Meu sincero MUITO OBRIGADA a todos.

**“Deitar-me faz em verdes pastos,
guia-me mansamente a águas tranquilas.”**

Salmos 23:2

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Autor: Francine Damian da Silva
Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Santa Maria, 20 de fevereiro de 2015.

Para a sustentabilidade dos sistemas de integração lavoura-pecuária, o manejo adequado de seus componentes (solo-planta-animal), que são dinâmicos e interagem entre si, são fundamentais para definir a capacidade do sistema em prover balanço positivo ou negativo de carbono ao sistema, assim como determinar as mudanças físicas, químicas e biológicas do solo, o que pode afetar a capacidade de produção dos solos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial e temporal da produtividade da soja e compreender sua relação com a variabilidade espacial das placas de esterco, atributos físicos e químicos do solo, e a qualidade do solo em diferentes intensidades de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária. O Capítulo I concluiu que o estoque de carbono no solo sob diferentes intensidades de pastejo foi relacionado aos índices de qualidade do solo. A maior taxa de estratificação do carbono e o maior índice de estoque de carbono foram encontrados para o tratamento com moderada intensidade de pastejo. A integração lavoura-pecuária age como fonte ou como dreno do carbono atmosférico, dependendo da intensidade de pastejo. Sob alta intensidade de pastejo, o sistema age como fonte ($0.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), e sob baixas intensidades de pastejo como dreno, variando de 0.25 to $0.37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Pastos manejados com altura de pasto 20 e 40 cm possuem o melhor balanço entre o índice de manejo do solo e o ganho de peso diário. O melhor balanço entre o índice de manejo do solo e o ganho de peso por animal por unidade de área e o retorno econômico ocorreu no tratamento 20 cm. Já o Capítulo 2 concluiu que a presença de placas de esterco afetou a ciclagem dos nutrientes P e K no solo em relação a locais sem esterco na pastagem. O tratamento de altura do pasto de 0,10 m apresentou o maior teor de P no solo em relação ao tratamento de 0,40 m. O diâmetro médio ponderado dos agregados foi maior no tratamento de 0,40 m em relação ao tratamento de 0,10 m e a densidade do solo foi semelhante entre as alturas do pasto. O tratamento de altura do pasto 0,10 m, que possuía uma distribuição mais homogênea de placas de esterco na área, apresentou maior variabilidade dos nutrientes P e K, e o tratamento de 0,40 m, que possuía o menor número de placas de esterco com distribuição concentrada em pontos atrativos, apresentou a menor variabilidade dos nutrientes. Em anos com restrição hídrica severa todos os tratamentos de altura do pasto foram afetados, sendo a produtividade média reduzida em 80% em relação as safras 2012/13 e 2013/14 sem restrição hídrica. Os principais componentes afetados pelo estresse hídrico foram o número de legumes por planta e o peso de 1000 grãos (safra 2011/12). No ano com restrição hídrica severa o tratamento de altura do pasto de 0,40 m, que proporcionou maior aporte de cobertura morta sobre o solo, apresentou a maior variabilidade de produtividade de soja.

Palavras-chave: Bovino de corte; Intensidades de pastejo; Agricultura de Precisão; Índice de manejo do carbono; Índice de resiliência; Balanço de carbono.

ABSTRACT

Doctorate's Thesis
Post-Graduation Program on Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ATTRIBUTES AND SOYBEAN PRODUCTIVITY AND QUALITY SOIL IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM

Author: Francine Damian da Silva
Advisor: Telmo Jorge Carneiro Amado
Santa Maria, February, 20th, 2015.

For the sustainability of integrated crop-livestock systems, the proper management of its components (soil-plant-animal), which are dynamic and interact with each other, are essential to define the system's ability to provide positive or negative carbon balance to system and determine the physical, chemical and biological soil, which can affect the production capacity of agricultural soils. The objective of this study was to characterize the spatial and temporal variability of soybean yield and understand their relationship with the spatial variability of dungs, physical properties and chemical soil, and soil quality in different grazing intensities in integrated crop-livestock system. Chapter I concluded that the soil organic C stocks under different grazing intensities was related to indices of soil quality. The highest C stratification ratio and C pool index were found in the treatment with moderate grazing intensity. The integrated crop-livestock system acts as source or sink of atmospheric C depending on the grazing intensity. Under heavy grazing intensity, the system acts as a source ($0.04 \text{ Mg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), and under light grazing intensity, it acts as a sink. The value range from 0.25 to $0.37 \text{ Mg ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$. Pastures managed at 0.20 and 0.40 m sward height had the best balance between CMI and animal daily weight gain. The best balance between C management index and live weight gain per unit area, C management index and economic return, occurred in sward height of 0.20 m. Chapter 2 concluded that the dung supply affects the cycling of the nutrients P and K in the soil, in comparison with sites without supply, and the pasture height of 10 cm treatment had the highest P content in the soil in relation to the treatment of 0.40 m. The average diameter of the aggregates was higher with 0.40 m in relation to the treatment of 0.10 m and soil density was similar between the heights of the pasture. Treatment of sward height 0.10 m, which had a more homogeneous distribution of dungs in the area, showed greater variability of nutrients P and K, and the treatment of 0.40 m, which had the lowest number of dungs with distribution concentrated in attractive points, had the lowest variability of nutrients. In years with severe water restriction, all pasture height treatments were affected, with an average yield reduced by 80% over 2012/13 and 2013/14 crops without water restriction. The main components affected by water stress were the number of pods per plant and the weight of 1000 grains (2011/12). For the year severe water restriction the sward height of 0.40 m treatment, which provided greater coverage contribution dead on the ground, had the highest soybean yield variability.

Keywords: Beef cattle; Grazing intensities; Precision Agriculture; Carbon management index; Resilience index; Carbon balance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

HISTÓRICO DO EXPERIMENTO

Figura 1 - Localização espacial do experimento no estado do RS, com detalhamento dos blocos experimentais. 20

Figura 2 - Alturas de manejo do pasto de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos..... 21

CAPÍTULO I

Figure 1 - Chronology of land use in the experimental area: before 1993 gallery forest and natural pastures; 1993, conversion of the original vegetation into crop land; 1993 to 2001, soybean in the summer and black oat in the winter were cultivated under conventional tillage; 2001 to 2010, installation of the integrated crop-livestock system with different grazing intensities. Average stocking rate was 6.7, 4.7, 3.1, and 1.7 steers ha^{-1} at 0.10, 0.20, 0.30, and 0.40 m sward height..... 30

Figure 2 - Relationship between residual dry matter (shoot and root; $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) in the different grazing intensities. Data from Carvalho et al. (2011)..... 31

Figure 3 - Relationship between SOC stocks in the 0-0.20 m soil depth and carbon stratification ratio (CSR) (0-0.10: 0.10-0.20 m) (a), carbon pool index (CPI) (b) and carbon management index (CMI) (c). Relationship between CSR and lability index (LI) (d) . Grazing intensity= 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m sward height..... 39

Figure 4 - Relationship between different grazing intensities and carbon management index (CMI), and live weight gain per unit area (WG) (a); CMI and animal daily gain (DG) (b) and CMI and gross income (US\$) (c). WG and DG = averaged of 2001-2010. Source: Carvalho et al. (2011) and Bremm et al. (2012)..... 43

CAPÍTULO II

Figura 1 – Área dos polígonos de Thiessen da distribuição espacial das placas de esterco, nas alturas de manejo do pasto 0,10 (a), 0,20 (b), 0,30 (c) e 0,40 m (d), considerando todas as amostragens..... 56

Figura 2 - Precipitação pluviométrica mensal e acumulada ocorrida nos anos agrícolas 2011/12 (a), 2012/13 (b) e 2013/14 (c)..... 60

Figura 3 - Distribuição espacial horizontal dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica e $CTC_{pH\ 7,0}$ no solo. As letras indicam os tratamentos de altura do pasto: (a): 0,40 m; (b): 0,30 m; (c): 0,10 m; (d) 0,20 m..... 67

Figura 4 - Mapas de produtividade nas safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14 em área de integração lavoura-pecuária. As letras indicam os tratamento de altura do pasto: (a): 0,40 m; (b): 0,30 m; (c): 0,10 m; (d) 0,20..... 73

LISTA DE TABELAS

HISTÓRICO DO EXPERIMENTO

Tabela 1 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico em diferentes camadas, antes da implantação do experimento (Novembro de 2000)..... 23

Tabela 2 – Histórico de adubações realizadas na soja e na pastagem no protocolo experimental do sistema de integração lavoura-pecuária..... 23

CAPÍTULO I

Table 1 - Soil physical and chemical characterization in different sward heights in 2011..... 29

Table 2 - Harvest and root dry matter indices and percentage of carbon in the crop residue..... 34

Table 3 - Average carbon input derived from the dry matter (shoot + root) of winter and summer crops in the different grazing intensities under integrated crop-livestock system..... 36

Table 4 - Soil organic carbon (SOC), particulate organic carbon (POC) and mineral-associated organic carbon (MAOC) stocks (Mg ha^{-1}) in 0-0.20 m soil layer for different grazing intensities under integrated crop-livestock system in Oxisol from South Brazil..... 37

Table 5 - Carbon stratification ratio (CSR), carbon pool index (CPI), carbon management index (CMI) and lability index (LI) indices (Mg ha^{-1}) in 0-0.20 m soil layer for different grazing intensities under integrated crop-livestock system in Oxisol from South Brazil..... 38

Table 6 - Soil carbon balance in different pasture management investigated by the carbon model proposed by Henin and Dupuis (1945) using the 0-0.20 m soil depth as reference..... 41

Table 7 - Depletion rate, recovery rate and resilience index after conversion gallery forest and natural pastures into crop land and conversion from crop land to integrated crop-livestock system in South Brazil..... 42

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico em diferentes camadas nas parcelas experimentais avaliadas (Maio de 2001)..... 55

Tabela 2 – Parâmetros químicos e físicos do solo em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.....	62
Tabela 3 – Percentagem de agregados em seis classes de diâmetro, na profundidade de 0-0,10 m, em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.....	63
Tabela 4 – Parâmetros químicos e físicos do solo em relação a presença de esterco em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.....	64
Tabela 5 - Estatística descritiva dos polígonos de Thiessen e atributos químicos e físicos do solo para os diferentes tratamentos de altura do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária.....	65
Tabela 6 - Produtividade da soja em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.	69
Tabela 7 - Produtividade da soja em relação a presença de placas de esterco na fase de pastagem na integração lavoura-pecuária sob plantio direto.....	70
Tabela 8 - Componentes de rendimento de soja em função das alturas de manejo do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio-direto.....	71
Tabela 9 - Estatística descritiva das produtividades de soja para os diferentes tratamentos de altura do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária.	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	18
2.1 Hipóteses.....	18
2.2 Objetivos.....	18
2.2.1 Geral.....	18
2.2.2 Específicos.....	18
3 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO	20
3.1 Local do Experimento	20
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	21
3.3 Condução do experimento	22
3.4 Adubação e calagem	22
3.5 Referências.....	24
4 CAPITULO I	26
4.1 Introduction	27
4.2 Material and methods.....	28
4.2.1 <i>Experimental field</i>	28
4.2.2 <i>Soil sampling, carbon stock and resilience index</i>	31
4.2.3 <i>Carbon stratification ratio, carbon pool index and carbon management index</i>	32
4.2.4 <i>Soil C balance</i>	33
4.2.5 <i>Statistical analysis</i>	34
4.3 Results and discussion	35
4.3.1 <i>Dry matter pasture and crop residue input (shoot and root) in different grazing intensities</i>	35
4.3.2 <i>SOC stocks affected by different grazing intensities</i>	36
4.3.3 <i>Relationships of SOC, CSR, CPI, CMI and LI</i>	38
4.3.4 <i>Carbon balance in integrated crop-livestock system</i>	40
4.3.5 <i>Resilience index</i>	42
4.3.6 <i>Livestock and crop productivity relationships with soil quality</i>	42
4.4 Conclusions	44
4.5 References... ..	45
5 CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO DE PLACAS DE ESTERCO AFETADA PELO MANEJO DA PASTAGEM E SUA RELAÇÃO COM A VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA	52
5.1 Introdução... ..	53
5.2 Material e Métodos	54
5.2.1 Distribuição das placas de esterco	55
5.2.2 Caracterização dos atributos do solo	56

5.2.3 Manejo da lavoura de soja	58
5.3 Resultados e discussão	60
5.3.1 Presença de placas de esterco e ciclagem de nutrientes	60
5.3.2 Distribuição espacial de placas de esterco e dos atributos de solo	64
5.3.3 Produtividade da cultura da soja	68
5.3.4 Variabilidade espacial da produtividade da soja em ILP	71
5.4 Conclusões..	73
5.5 Referências.	75
5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Sul do Brasil, os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) desempenham um importante papel na sustentabilidade agrícola, onde os animais são criados a pasto, geralmente com aveia preta (*Avena strigosa*) e/ou azevém (*Lolium multiflorum*), durante o inverno, após sendo deslocados para outras áreas ou comercializados, e durante o verão, rotação com milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) ou arroz (*Oryza sativa*), como uma estratégia de diversificação econômica da propriedade.

Para a sustentabilidade destes sistemas, o manejo adequado de seus componentes (solo-planta-animal), que são dinâmicos e interagem entre si, são fundamentais para definir a capacidade do sistema em prover balanço positivo ou negativo de carbono (C) ao sistema (ANGHINONI et al., 2011; SILVA et al., 2014), assim como determinar as mudanças físicas, químicas e biológicas do solo, o que pode afetar a capacidade de produção dos solos agrícolas (SOUZA et al., 2009).

O balanço de C no sistema de ILP está relacionado diretamente com o acúmulo e armazenamento da matéria orgânica do solo (MOS) (DORAN e PARKIN, 1994; MIELNICZUK, 1999), e é utilizado como um indicador de qualidade do solo, especialmente por ser altamente sensível ao sistema de manejo adotado. Com o acúmulo de MOS e consequentemente aumento de sua qualidade, há a ativação de diversos processos no solo, como a maior resistência à erosão, maior taxa de infiltração e retenção de água, aumentos na capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no sequestro de C atmosférico, na atividade e diversidade biológica e na resistência a perturbações (MIELNICZUK et al., 2003; VEZZANI, 2001).

Alguns índices são apresentados para avaliar a qualidade dos solos agrícolas, como o índice de manejo do C (IMC), proposto por Blair et al. (1995), capaz de sintetizar o efeito do manejo do solo sobre a quantidade e qualidade da MOS, comparando-o com uma situação considerada original ou ideal, geralmente uma área de vegetação nativa. Diekow (2003) encontrou IMC crescente em função do aumento do aporte de C e N por resíduos vegetais e adubação mineral nitrogenada, enquanto que áreas mantidas com solo descoberto tiveram os menores índices.

Já Franzluebbbers (2002) propôs avaliar a qualidade do solo através da razão entre os teores de MOS de camadas do perfil do solo, chamando este índice de relação de estratificação do C (RE). Este índice fundamenta-se nas alterações dos atributos do solo, na camada superficial, pois essa é a interface vital entre o solo e a atmosfera, a qual recebe grande parte dos insumos, excrementos e restos culturais. O aumento da RE indica maior infiltração de água, melhor desenvolvimento de macroporos, agregados mais estáveis, maior oferta de nutrientes de liberação-lenta, e a oferta diversificada de alimentos para a atividade dos organismos do solo (FRANZLUEBBERS, 2002), atuando o solo como um dreno de C, promovendo assim o seu acúmulo no solo (SÁ e LAL, 2009).

Porém, em sistemas integrados o uso de médias (produtividade das culturas, teor de nutrientes do solo, qualidade do solo entre outros atributos) não é a melhor estratégia de interpretar os impactos do sistema de manejo adotado. Assim, a investigação da dinâmica espacial e temporal de atributos de solo e planta pode contribuir para a compreensão do funcionamento dos sistemas de ILP. Neste contexto, diante desta nova realidade, as ferramentas da agricultura de precisão (AP) podem ser utilizadas como meio de investigar a variabilidade existente nestes sistemas. Assim, várias ferramentas têm sido recomendadas e utilizadas para identificar, caracterizar e entender a variabilidade espacial e temporal das culturas e do solo em uma determinada área, sendo as mais usuais: sensores de produtividade, fotografia aérea, drones, amostragem sistematizada de solos, sensores eletrônicos e sensoriamento remoto.

Os sensores de produtividade permitem gerar informações espaciais da produtividade de uma cultura, porém não estabelece as relações de causa-efeito. Assim, os dados de desempenho da cultura no campo devem ser associados com outras informações, para o entendimento das causas da variação observada. Parte da variabilidade espacial e temporal na produtividade das culturas de soja, milho e trigo, em Latossolo Vermelho distrófico típico foi explicada pela variabilidade de atributos químicos do solo (SANTI et al., 2012). Neste caso, a amostragem intensiva e georreferenciada do solo, torna-se importante no processo de racionalização do uso de insumos, pois os mapas de produtividade subsidiaram as intervenções de manejo como a necessidade de reposição de nutrientes (SANTI et al., 2012).

A representação espacial de dados coletados em áreas de lavoura tem contribuído significativamente para a tomada de decisões e manejo respeitando a variabilidade de solo e de planta, com resultados positivos na abordagem de questões ambientais, sociais e econômicas (LANDAU et al., 2014). Neste sentido, a aplicação de técnicas de AP, em sistemas de ILP tornou-se uma ferramenta essencial para a integração espacial de dados multidisciplinares considerados.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipóteses

A variabilidade espacial das placas de esterco afeta a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo, afetando assim a variabilidade espacial da produtividade da soja.

A intensidade de pastejo moderada melhora o desempenho animal, a retenção de C no solo, proporciona produtividade de grãos competitiva e a sustentabilidade econômica, social e ambiental do sistema de ILP.

2.2 Objetivos

2.2.1 Geral

Caracterizar a variabilidade espacial e temporal da produtividade da soja e compreender sua relação com a variabilidade espacial das placas de esterco, atributos físicos e químicos do solo, e a qualidade do solo em diferentes intensidades de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária.

2.2.2 Específicos

Identificar a distribuição espacial das placas de esterco em distintas alturas de manejo do pasto e sua relação com a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo.

Estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade da soja nas distintas alturas de manejo do pasto.

Caracterizar os componentes de rendimento nas distintas alturas de manejo do pasto.

Avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo sobre os índices de qualidade do solo.

Avaliar o efeito de 10 anos de integração lavoura-pecuária sobre os estoques de carbono no solo, comparados com a floresta de galeria.

3 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO

3.1 Local do Experimento

A área experimental está localizada na Fazenda do Espinilho (latitude 28°56' S, longitude 54°20' W e altitude de 425 m), município de São Miguel das Missões – Rio Grande do Sul (RS), região fisiográfica do Planalto Médio (Figura 1). Originalmente a cobertura vegetal da área foi campo nativo típico do Planalto Médio, composto predominantemente por *Paspalum notatum* Fluegge e florestas de galeria, sendo convertida em lavoura sob sistema plantio direto em 1993. A cultura implantada foi a soja para produção de grãos, no verão, e aveia preta para produção de sementes, no inverno. O pastejo com bovinos na área experimental iniciou no outono de 2000, quando foi semeada uma mistura de aveia + azevém e, posteriormente ao ciclo de pastejo, foi implantada a cultura da soja. Após a colheita da soja em 2001 (maio) foi semeada a aveia + azevém (ressemeadura natural) e os tratamentos foram estabelecidos.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006), profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escuro e textura argilosa (0,54 kg kg⁻¹ de argila; 0,27 kg kg⁻¹ de silte e 0,19 kg kg⁻¹ de areia) na camada 0-0,20 m. O clima é subtropical com verão quente e úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (KOTTEK et al., 2006).



Figura 1 – Localização espacial do experimento no estado do RS, com detalhamento dos blocos experimentais. Fonte: Carvalho et al., 2011.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constaram de diferentes alturas de manejo do pasto: 0,10 cm, considerado pastejo intenso, 0,20 e 0,30 cm, considerados como pastejos moderados, e 0,40 cm, tido como pastejo leve e um tratamento sem pastejo (SP), distribuídos em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições (Figura 2).

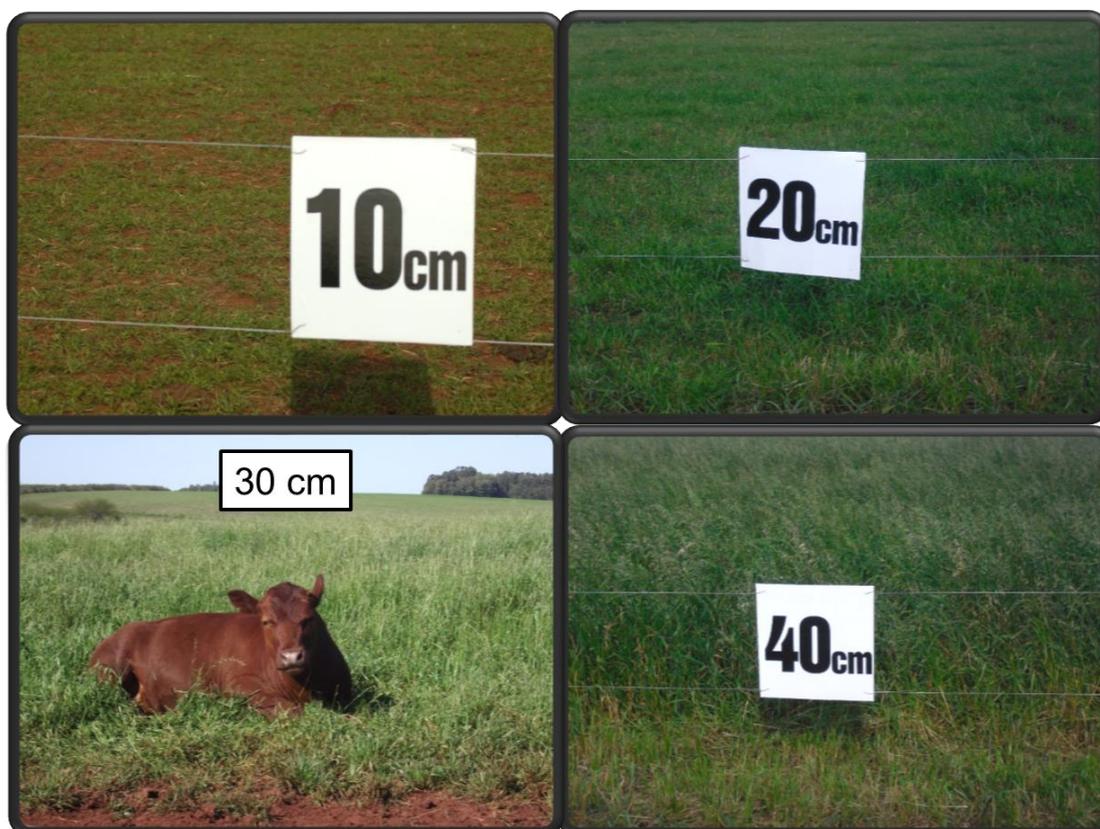


Figura 2 - Alturas de manejo do pasto de aveia preta + azevém em plantio direto, submetida ao pastejo de bovinos.

A área total do experimento foi de, aproximadamente, 22 hectares, o qual foi dividido em 12 parcelas experimentais e 2 parcelas sem pastejo, cujas áreas variam de 0,8 a 3,2 hectares, aproximadamente, em função dos tratamentos aplicados (Figura 1).

3.3 Condução do experimento

Durante o período de inverno foram utilizados para o pastejo bovinos jovens, com idade aproximada de dez meses (no início do pastejo), machos e castrados, oriundos de cruzamentos entre as raças Angus, Hereford e Nelore, sem grau de sangue definido e com peso vivo médio inicial entre 190 e 200 kg. Cada tratamento possuía três animais-teste e variável número de animais-reguladores para manter as alturas de manejo do pasto.

As alturas do pasto foram medidas a cada 15 dias, aproximadamente, com um bastão graduado em cm (*Sward stick*), proposto por Barthram (1986). Assim, os animais-reguladores foram colocados e retirados da pastagem conforme necessidade de ajuste da altura, usando-se a técnica “put-and-take”, descrita por Mott e Lucas (1952). O método de pastejo adotado foi o contínuo e, geralmente, os animais entraram na área experimental quando a pastagem atingia um acúmulo médio de 1.500 kg ha⁻¹ de matéria seca (aproximadamente 0,25 m), na primeira quinzena de julho, e se estendeu até a primeira quinzena de novembro, totalizando em média 110 dias de pastejo.

Após a retirada dos animais, eles foram deslocados para pesagem e a pastagem foi dessecada para a semeadura direta da soja, que ocorreu no final de novembro, sendo os tratos culturais os recomendados para a cultura (RPS-Sul, 2002 a 2012). A colheita foi realizada entre os meses de abril e maio.

3.4 Adubação e calagem

Em novembro de 2000 o solo foi amostrado (Tabela 1), e ao final do primeiro ciclo de pastejo e antecedendo a implantação do primeiro ciclo da soja (novembro de 2001), foi efetuada uma aplicação superficial de calcário em toda área, na dosagem de 4,5 Mg ha⁻¹ (PRNT de 62%), dose equivalente à recomendada para elevar o pH do solo até 5,5 na camada 0-0,10 m, para a condição de plantio direto consolidado, de acordo com CQFS-RS/SC (2004). No outono de 2010, antecedendo ao pastejo, o calcário foi reaplicado na superfície do solo, em sub-parcelas (20 x 30 m) localizadas dentro das parcelas pastejadas, na dose de 3,6 Mg ha⁻¹, novamente com o objetivo de elevar o pH do solo a 5,5 na camada de 0-0,10 m, conforme CQFS-RS/SC (2004).

Tabela 1 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico em diferentes camadas, antes da implantação do experimento (Novembro de 2000).

Camada	pH-H ₂ O	Matéria orgânica	Cátions trocáveis ⁽¹⁾				P ⁽²⁾	K ⁽²⁾
			Ca	Mg	Al	H+Al		
m		%	-----cmol _c dm ⁻³ -----				----mg dm ⁻³ ----	
0,0-0,5	4,9	4,2	6,2	1,3	0,3	8,7	13	240
0,5-0,10	4,6	3,5	4,8	1,8	0,6	9,7	10	119
0,10-0,15	4,6	2,6	4,1	2,2	0,7	9,7	5	88
0,15-0,20	4,6	2,6	4,0	1,1	1,0	10,1	4	55

⁽¹⁾Extração com KCl/1 mol L; ⁽²⁾Método Mehlich 1.

Fonte: Cassol (2003).

A adubação do experimento (Tabela 2) constou, basicamente, da aplicação de N na pastagem e de P e K na soja, considerando as análises de solo, em doses para produtividades entre 4,0 e 7,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca de pasto e de 4,0 Mg ha⁻¹ de grãos de soja (CQFS-RS/SC, 2004). A partir do inverno de 2012, a adubação começou a ser realizada visando o sistema, com dose integral na pastagem. Os demais tratos culturais foram executados semelhantemente em todas as parcelas, conforme manejo adotado pelo produtor.

Tabela 2 – Histórico de adubações realizadas na soja e na pastagem no protocolo experimental do sistema de integração lavoura-pecuária.

Ano	Nutriente (kg ha ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----Soja-----		
2001/02	-	60	-
2002/03	-	60	90
2003/04	15	60	60
2004/05	-	60	90
2005/06	-	60	90
2006/07	-	60	90
2007/08	-	60	60
2008/09	-	60	60
2009/10	-	60	60
2010/11	-	60	60
2011/12	-	60	60
	-----Pastagem-----		
2001	45	-	-
2002	45	60	-
2003	90	-	-
2004	45	-	-
2005	45	-	-
2006	45	-	-
2007	45	-	-
2008	45	-	-
2009	90	-	-
2010	45	-	-
2011	90	-	-
2012	140	60	60
2013	150	60	90

Fonte: Martins (2013).

3.5 Referências

ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus scyentifica**, v. 6, n.2, p. 1-4, 2011.

BARTHAM, G. T. **Experimental techniques: the HFRO sward stick**. Biennial Report 1984-1985. Hill Farming Research Organization, Penicuik, 1986. p. 29-30.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p.1459, 1995.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, p. 95- 106, 2002.

KOTTEK, M. et al. World map of the köppen-geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LANDAU, E. C.; BRANDÃO, Z. N.; FARIA, C. M. Creación de mapas de manejo con datos espaciales. In: MANTOVANI, E. C.; MAGDALENA, C. (Org.). **Manual de Agricultura de Precisión**. Montevideo: IICA, 2014. p. 74-83.

MARTINS A.P. **Acidez do solo e reaplicação de calcário em sistema de de integração lavoura pecuária em sistema plantio direto**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. (Org.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p. 209-248.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Org.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-8.

MOTT, G.O., LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials in cultivated and improved pastures. In: WAGNER, R.E. et al. (Org.), **Proceedings 6th International Grassland Congress**, Pennsylvania State College, Pa., 17–23 August 1952, p. 1380–1385.

RPS-Sul - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2002 até 2012**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142 p.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 46-56, 2009.

SANTI, et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346-1352, 2012.

SILVA, F. D. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 60-69, 2014.

SOUZA, E.D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

4 CAPITULO I

Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop-livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil¹

Francine Damian da Silva, Telmo Jorge Carneiro Amado, Ademir de Oliveira Ferreira, Joice Mari Assmann, Ibanor Anghinoni, Paulo Cesar de Faccio Carvalho

¹Artigo publicado em 01 de junho de 2014, na revista *Agriculture, Ecosystems and Environment*, volume 190, páginas 60-69 (DOI: 10.1016/j.agee.2013.12.005). Formatação conforme as normas da revista.

Abstract

Brazil has the world's second-largest cattle herd and second-largest no-till grain crop area. However, these activities are not frequently integrated because there is a widespread perception that cattle have a negative effect on cropping, especially when high crop yields are a goal. This misunderstanding of the synergy between pastures, livestock and crops is linked to overgrazing at the pasture rotation phase, which causes a decline in soil quality. Few studies have investigated the effect of pasture grazing intensities on soil carbon (C) balance and soil quality in subtropical environments. This work assessed the effects of different grazing intensities (0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m sward height) on soil C indices and animal productivity in a clay Haplorthox. The crop-livestock system model was a soybean/ryegrass plus black oat annual rotation managed for 10 years, using a randomized complete block design with three replications. Grazing intensity affected the quantity and composition of soil C input. Under heavy grazing with limited soil C input, there was a decrease in pasture and an increase in soybean participation in total C input. Soil organic C (0-0.20 m) under different grazing intensities had a linear relationship with C stratification ratio, C management index (CMI) and C pool index. Our results suggest that integrated crop-livestock systems could act as atmospheric C sources or sinks, depending on the grazing intensity. Pastures managed at 0.20 and 0.40 m height had the best balance between CMI and animal daily gain. The best balance between CMI and live weight gain per unit area occurred in sward height of 0.20 m.

Keywords: Carbon management index; Resilience index; Carbon balance; No-till; Oxisol.

Abbreviations: C, carbon; CMI, carbon management index; CPI, carbon pool index; CSR, carbon stratification ratio; DG, daily gain; ICLS, integrated crop-livestock system; POC, particulate organic carbon; RI, resilience index; SOC, soil organic carbon; WG, live weight gain per unit area.

4.1 Introduction

Total area of pastures in Brazil is approximately 172 million hectares (MAPA, 2013), of which 70% is currently estimated in some stage of pasture degradation. The majority of livestock production is carried out with free grazing and poor pasture management, making pasture degradation one of the biggest challenges of Brazilian livestock production, which reflects directly on the system's sustainability and ecosystem quality (Euclides et al., 2010). Among the main causes of pasture degradation are inadequate pasture management (Dubeux Jr. et al., 2007), high stocking rates and unbalanced nutrient replacement (Boddey et al., 2004). Consequently, weed infestation (Dubeux Jr. et al., 2007) and a progressive decline in soil quality (Marchão et al., 2009) was observed.

Total area of grain production in Brazil is approximately 52.2 million hectares (MAPA, 2013), with no-till systems representing approximately half of this area. One of the biggest challenges of no-till agriculture in tropical and subtropical environments is providing permanent soil cover and enough carbon (C) as crop residue input to account for climate conditions that promote fast crop residue decomposition and soil organic matter turnover (Amado et al., 2006; Bolinder et al., 2007; Sá et al., 2001).

The synergy between pasture, livestock and crops in an integrated crop-livestock system (ICLS) could meet these challenges of animal and grain production. In this system, the pasture phase could provide permanent soil cover and crop residue input required for a no-till system. Grain crops could improve overall soil fertility, because of the need for mineral fertilizer and lime inputs, and therefore increasing pasture vigor. Livestock, by producing dung and urine, could increase soil biological activity and nutrient recycling (Dubeux Jr. et al., 2009). The ICLS have proven to be effective in improving soil quality, breaking the cycle of pests and diseases, decreasing weed infestation, improving cash flow by diversifying income (i.e., by producing income from meat and grain) and providing sustainability to the production system (Franzluebbers, 2007; Sulc and Tracy, 2007).

Large-scale adoption of ICLS in Southern Brazil has been limited by the misconception that livestock during the pasture phase will have a negative effect on grain yields of the crop phase, particularly under no-till, because of minimal soil disturbance. Pasture overgrazing drives a progressive decline in soil quality because limited soil C input causes a lack of mulch that could otherwise prevent soil erosion (Franzluebbers, 2013), reduce soil compaction caused by agricultural machinery traffic (Reichert et al., 2009), stimulate biological activity, compensate for the fast residue decomposition in tropical environments and prevent weed

infestation with species that are difficult to control chemically, such as horseweed (*Conyza bonariensis* L. Cronquist). According to Oldeman et al. (1991), approximately half of the world's agricultural land has severe soil degradation, notably in tropical and subtropical environments. Overgrazing is among the main causes of soil degradation.

Long-term studies are essential tools for understanding the effects of soil management on soil organic C (SOC) stocks changes (Bayer et al., 2009). There are few medium and long-term studies that investigate the relationship between pasture grazing intensities and SOC stocks under no-till in tropical climates.

Soil C indices are efficient early indicators of whether a given production system is driving the ecosystem to lose soil quality (Bayer et al., 2009), even before the SOC stocks has changed. According to Islam and Weil (2000), some fractions of SOC are important indicators of soil quality. The carbon management index (CMI) is an indicator of the quality of soil management and allows for a comparison of different systems with regard to their effects on soil quality (Diekow et al., 2005). Generally, high CMI values are associated with high soil quality in grain cropping systems (Bayer et al., 2009; Blair et al., 1995). Recently, this index was used as an indicator of the effects of pasture grazing intensity on soil quality (Carvalho et al., 2010; Souza et al., 2009).

Carbon stratification ratio (CSR) is the ratio between SOC from two different soil layers, usually the topsoil and an adjacent soil layer less affected by farming operations (Franzluebbbers, 2002; Franzluebbbers et al., 2007). Greater CSRs are related to soil management practices that enhance soil quality (Ferreira et al., 2013; Franzluebbbers, 2002).

Research on soil C balance and soil quality in ICLS in tropical and subtropical climates is still scarce. This work assessed the effects of different grazing intensities (0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m sward height) on soil C indices and animal productivity in a clay Haplorthox. The study was conducted over a time span of 10 years using ICLS under no-till in subtropical Southern Brazil.

4.2 Material and methods

4.2.1 Experimental field

The experiment was established in May of 2001 at the Espinilho farm, located in São

Miguel das Missões, a county with a tradition of livestock production and recent expansion into grain crop production. The geomorphological unit corresponds to the Planalto Medio region in Rio Grande do Sul State (Southern Brazil; 28° 56' S and 54° 20' W, at an altitude of 425 m above the mean sea level). Soil is classified as Rhodic Haplorthox (Oxisol), deep, well drained, with a clayey surface texture of basaltic rock (540, 270 and 190 g kg⁻¹ of clay, silt and sand, respectively, in the 0-0.20 m soil layer). Soil physical and chemical characteristics are presented in Table 1. Climate is classified as Cfa (humid subtropical) according to the Köppen system of climate classification, with a mean annual rainfall of 1850 mm and an average temperature of 19 °C. Original vegetation was composed of gallery forest (GF) and natural pastures formed by grasses, predominantly *Paspalum notatum* Fluegge.

Table 1

Soil physical and chemical characterization in different sward heights in 2011.

Sward heights (m)	Physical attributes (0-0.10 m)		Chemical attributes (0-0.20 m)					
	Soil bulk density (Mg m ⁻³)	pH	P ^a	K ^a	Ca ^a	Mg ^a	CEC ^b	V ^c
		H ₂ O	mg Kg ⁻¹		mmol _c kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	%
0.10	1.32	4.28	13.02	2.10	39.20	23.40	11.67	55.61
0.20	1.23	4.30	11.60	2.10	41.00	24.20	10.25	65.78
0.30	1.30	4.12	9.94	1.90	34.20	20.70	9.58	59.41
0.40	1.23	4.20	16.91	2.70	39.20	24.10	14.25	46.30
GF ^d	1.08	4.03	7.22	2.70	49.50	27.00	11.50	68.44

^a Extracted with Mehlich-I; ^b Cation exchange capacity; ^c Base saturation; ^d Gallery forest. Source: Tatsch, 2012.

An integrated system of crops and livestock was adopted in 2001, with soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) as the grain cash crop during summer and mixtures of black oat (*Avena strigosa* Schreb) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) grown during winter for grazing pasture. An experimental area of approximately 22 ha was divided into 12 plots ranging from 0.9 to 3.2 ha; four pasture grazing intensities were applied by managing pasture heights at 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m, distributed in a randomized complete block design with three replications. The pasture heights were monitored every 15 days by the sward stick method (Barthram, 1986). Continuous put-and-take animal stocking was used to maintain desired pasture heights, as proposed by Mott and Lucas (1952).

Crossbred beef steers, approximately 10 months old and weighing approximately 199 kg, were used. The average stocking rates were approximately 6.7, 4.7, 3.1 and 1.7 steers ha⁻¹ for pasture grazing heights of 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m, respectively (Fig. 3). Grazing began in the first half of July and ended in the first half of November, with animal entrance occurring

when the pasture reached an average dry matter accumulation of approximately 1,800 kg ha⁻¹. Animal daily gain (kg) was obtained by the difference between the initial and the final individual live weight of the tester animals during grazing duration. Live weight gain per unit area was obtained by multiplying the daily gain by the number of animals per hectare and per day. After 45 days from pasture seeding (May), urea top dressing of 45 kg N ha⁻¹ was applied. Detailed information regarding the temporal phases in the integration system and chronology of land is shown in Fig. 1.

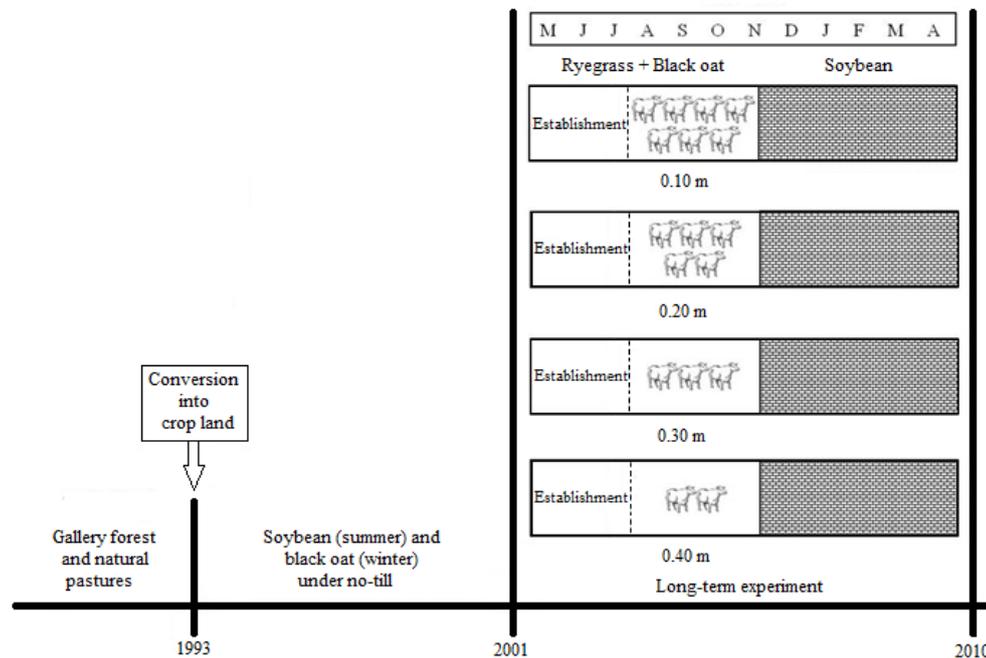


Fig. 1. Chronology of land use in the experimental area: before 1993 gallery forest and natural pastures; 1993, conversion of the original vegetation into crop land; 1993 to 2001, soybean in the summer and black oat in the winter were cultivated under conventional tillage; 2001 to 2010, installation of the integrated crop-livestock system with different grazing intensities. Average stocking rate was 6.7, 4.7, 3.1, and 1.7 steers ha⁻¹ at 0.10, 0.20, 0.30, and 0.40 m sward height.

After grazing, the pasture area was desiccated with glyphosate herbicide. Soybeans were established in November and harvested in April. The soybean cultivar was Nidera A6411 RR. Soybeans were sown at a density of 35 seeds m⁻² with a row spacing of 0.45 m. Mineral fertilization rate was 240 kg ha⁻¹ of 0-25-25 NPK, as recommended for a target yield of 4.0 Mg ha⁻¹ and based on soil analysis data (CQFS-RS/SC, 2004). To both phases (livestock and soybean yield), the gross income was evaluated considering the overall income obtained with sale of animals and soybean grains (Bremm et al., 2012).

Soil C input during the experimental period for each grazing intensity was based on research findings from Carvalho et al. (2011) that reported: (a) soybean yield, and (b) dry matter

production of black oat plus ryegrass (Fig. 2). The root C input was estimated according to Sá et al. (2001). Plant C concentrations of 45% and 39% were used for black oat plus ryegrass (Sá, unpublished data) and soybean (Ferreira et al., 2012), respectively.

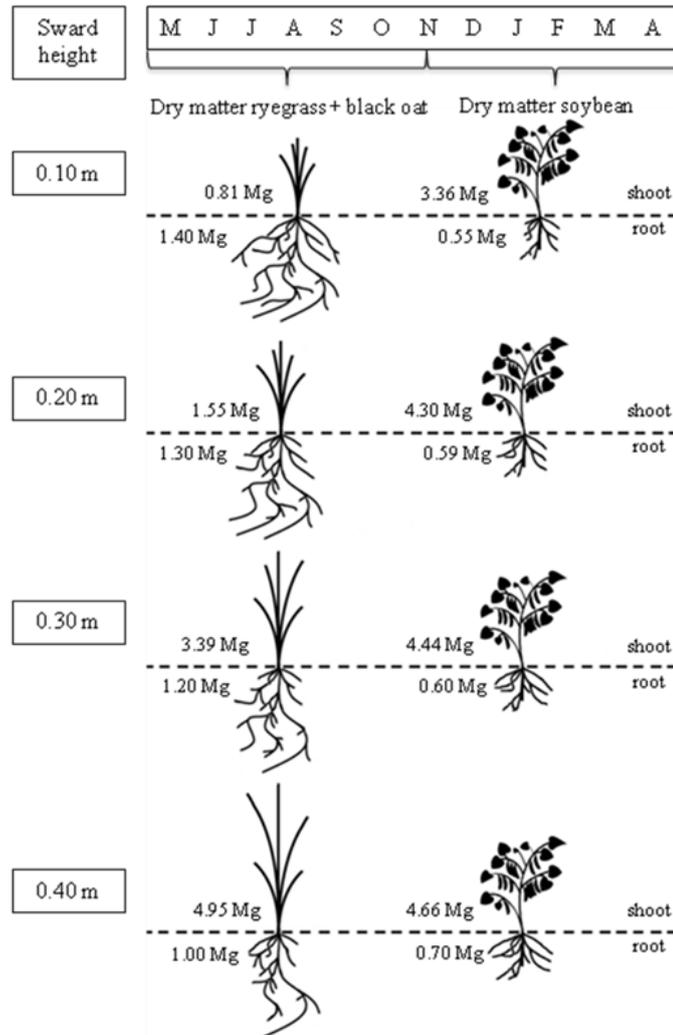


Fig. 2. Relationship between residual dry matter (shoot and root; $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) in the different grazing intensities. Data from Carvalho et al. (2011).

4.2.2 Soil sampling, carbon stock and resilience index

For this study, four soil composite samples from different grazing intensities treatments were collected in April of 2011 after the soybean harvest, at soil depths of 0-0.10 and 0.10-0.20 m. The soil samples from gallery forest was collected in May of 2010 at soil depth of 0-0.20 m. Soil bulk density was determined with steel rings having diameters of 0.085 m (Embrapa, 1997) at the same soil depths. Soil samples were air dried, freed of root and plant residue by manual

manipulation, and later finely ground.

Soil physical fractionation analysis of the organic C was performed using the technique of Cambardella and Elliot (1992). Total organic C and particulate organic C (POC) were determined by dry combustion (Shimadzu VCSH), assuming that there were no carbonates as soil pH was ≤ 5.0 . The SOC stocks were calculated based on equivalent soil masses (Ellert and Bettany, 1995), using the soil mass of an adjacent GF as the reference treatment.

Changes in SOC stocks ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) were estimated using Eqs. (1) and (2):

$$\text{Depletion rate} = (\text{SOC}_{\text{GF}} - \text{SOC}_{\text{Trt}})/t \quad (1)$$

$$\text{Recovery rate} = (\text{SOC}_{\text{Trt}} - \text{SOC}_{\text{Trt10}})/t \quad (2)$$

where SOC_{GF} , SOC_{Trt} and $\text{SOC}_{\text{Trt10}}$ refer to SOC stocks under GF, grazing intensity treatments, and treatment 0.10 m as “business as usual” (Carvalho et al., 2010), respectively; and t is the time in years since the conversion from GF and natural pastures into crop land and ICLS, totaling to 18 years.

Resilience index (RI) was evaluated as described by Dieckow et al. (2009) and Herrick and Wander (1997) to assess the rate of SOC recovery under different grazing intensities. In Eq. (3), the RI uses GF as the upper limit and Trt10 as the lower limit of SOC stocks:

$$RI = (\text{SOC}_{\text{Trt}} - \text{SOC}_{\text{Trt10}}) / (\text{SOC}_{\text{GF}} - \text{SOC}_{\text{Trt10}}) \quad (3)$$

4.2.3 Carbon stratification ratio, carbon pool index and carbon management index

The CSR was calculated as proposed previously by Franzluebbers (2002):

$$\text{CSR} = (\text{SOC in topsoil layer (0-0.10 m)})/(\text{SOC in adjacent soil layer (0.10-0.20 m)}) \quad (4)$$

Soil depths used in this study were selected based on Causarano et al. (2008), who reported that these soil depths were appropriate for investigating relationships between CSR and SOC stocks and between CSR and soil quality.

The carbon pool index (CPI) was calculated as described by Blair et al. (1995), as follows:

$$\text{CPI} = (\text{SOC}_{\text{trt}} \text{ in soil layer (0-0.20 m)})/(\text{SOC}_{\text{ref}} \text{ in soil layer (0-0.20 m)}) \quad (5)$$

where SOC_{trt} = soil organic carbon in given grazing intensity treatment and SOC_{ref} = soil organic carbon in the reference treatment (GF).

The CMI was obtained as described by Blair et al. (1995) with the adaption of Vieira et al. (2007):

$$\text{CMI} = \text{CPI} \times \text{LI} \times 100 \quad (6)$$

where LI is the lability index.

The LI is calculated as follows:

$$\text{LI} = (L \text{ in treatment}) / (L \text{ in reference}) \quad (7)$$

where L refers to the C lability, calculated as:

$$L = (\text{labile } C) / (\text{non-labile } C) \quad (8)$$

In this study, POC was defined as the labile pool, and the mineral-associated organic carbon (MAOC) was defined as the non-labile pool. The GF was considered as the reference (CMI = 100).

4.2.4 Soil C balance

Soil C balance was calculated using the unicompartamental model proposed by Henin and Dupuis (1945). The model estimates C balance based on the dynamic equilibrium concept ($dC/dt = 0$) of SOC requiring the quantity of C input by plant biomass and C losses through biological oxidation according to Eq. (9):

$$dC/dt = -K_2C + K_1A \quad (9)$$

where dC/dt = annual rate of SOC variation in Mg ha^{-1} , A = quantity of C input by crop residues annually in Mg ha^{-1} , K_1 = the humification coefficient represented by the percentage of C input

that will build up SOC, C = the SOC stock in Mg ha^{-1} , and K_2 = the annual coefficient of SOC lost by biological oxidation.

The following indices were used as additional parameters in the soil C balance:

Harvest index: Quantity of grain harvested as a fraction of total plant dry matter of the crop (Table 2).

Root dry matter index: Quantity of root dry matter produced as a fraction of total biomass (Table 2).

K_1 : Humification coefficient was assumed based on Campos (2006); $K_1 = 0.194$ for a grain crop rotation system in the same region as our study.

K_2 : oxidation coefficient for SOC. $K_2 = 0.012$ was used as previously proposed by Bayer (1996) from the same region as the present study.

Data on grain yields, shoot, root and total dry matter obtained for the crops in ICLS are summarized in Table 2.

Table 2

Harvest and root dry matter indices and percentage of carbon in the crop residue ^a.

Cropping systems	Harvest index [‡]	Root dry matter index [‡]	Carbon in the crop residue (g kg^{-1}) ^{‡‡}
Soybean	0.89 (± 0.02)	0.20 (± 0.01)	39.5 (± 0.02)
Italian ryegrass + black oat	1.00 (± 0.01)	0.23 (± 0.02)	45.0 (± 0.03)

^a As proposed by Sá et al. (2001); [‡] Index values of 0.89 and 0.20 for soybean cultivation indicate that 1 Mg of grain yields the equivalent of 0.89 Mg of dry matter for aerial parts and 0.20 Mg for soybean roots; ^{‡‡} Determined by dry combustion.

4.2.5 Statistical analysis

Results were subjected to an analysis of variance using the software SISVAR 5.0 (Ferreira, 2010). Means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$). Regression analysis was performed using JMP IN version 7.0.1 (Sall et al., 2005).

4.3 Results and discussion

4.3.1 *Dry matter pasture and crop residue input (shoot and root) in different grazing intensities*

The effects of pasture grazing intensity on biomass input to soil are shown in Fig. 2. The average amount of total dry matter input (shoot + root) to soil from black oat plus ryegrass, ranged from 2.21 to 5.95 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for heavy grazing intensity (0.10 m sward height) and low grazing intensity (0.40 m sward height), respectively; at the total dry matter input from soybean, ranged from 3.91 to 5.36 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for heavy grazing intensity and low grazing intensity, respectively. Pasture management affected plant partitioning between shoot and root. Increasing the height of the sward increased residual dry matter of the shoot input; however, root mass decreased.

Under low sward height, residual dry matter of the shoot decreased, but this change was accompanied by an increase in root mass input. This plant behavior was observed previously by Conte et al. (2007) and is a physiological plant response to grazing stress (Chen et al., 2006). Pasture management with heavy grazing intensity stimulates plant tillering and, as a consequence, growth of new roots (Hodgson, 1990). Pasture management with lower grazing intensity stimulates constant shoot renewal and therefore reduces root growth (Carvalho et al., 2011).

The treatment 0.40 m sward height had 16% more input from aboveground biomass of black oat plus ryegrass in relation to treatment 0.10 m sward height. The results suggest that greater residual pasture shoot dry matter is favorable to soybean growth. Permanent soil cover is a prerequisite for the success of no-till systems (Derpsch et al., 2010). Increasing pasture residual dry mass input results in greater soil cover, there by increasing water infiltration, reducing soil temperature and evaporation and stimulating soil biological activity (Amado et al., 2006).

Under conditions of covered soil, greater soil moisture has been frequently reported, stimulating plant growth (Fageria et al., 2011). Weed infestation had a negative linear relationship with the quantity of residue input (Dubeux Jr. et al., 2007). Therefore, greater residual pasture input plays an important role as a weed control strategy in the soybean phase. Soybean nodulation is stimulated by maintaining soil cover (Ferreira et al., 2000) and results in greater aboveground biomass production.

Table 3 shows the average amount of C input to soil from plant residues under different

grazing intensities. Concerning the black oat plus ryegrass, the soil C input ranged from 0.99 to 2.68 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. Concerning the soybean, the input ranged from 1.55 to 2.12 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ (Table 3). In addition to affecting total C input (which ranged from 2.54 to 4.80 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for heavy and low grazing intensity, respectively) there was an effect on composition of C input. Black oat plus ryegrass participation in total C input was 39, 40, 51 and 56% for 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m sward height treatments, respectively. A decrease in pasture participation in soil C input has consequences for the quality of no-till systems.

Soybean crop residues have a low C/N ratio and therefore decompose quickly, remaining on the soil surface for only a short time. On the other hand, the mixture of black oat plus ryegrass with a high C/N ratio results in longer soil protection (Mauli et al., 2011). Balbinot Junior et al. (2004) concluded that a mixture of forages produces greater biomass than single species. Mauli et al. (2011) suggests that this diversity leads to better use of natural resources, decreased pest problems and enhanced nutrient cycling.

Table 3

Average carbon input derived from the dry matter (shoot + root) of winter and summer crops in the different grazing intensities under integrated crop-livestock system.

Cropping systems	Grazing intensities (m)	C input Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹
Italian ryegrass + black oat (W*)	0.10 [§]	0.99 c (±0.08)
	0.20	1.28 c (±0.26)
	0.30	2.07 b (±0.09)
	0.40	2.68 a (±0.27)
Soybean (S**)	0.10	1.55 b (±0.26)
	0.20	1.93 ab (±0.20)
	0.30	1.99 ab (±0.06)
	0.40	2.12 a (±0.21)

* Winter; ** Summer; [§] Sward height (m). Averages followed by the same letters, in the columns, do not differ by the Tukey test, to the level 5% of significance. Comparison is between grazing intensities (in the same cropping systems).

4.3.2 SOC stocks affected by different grazing intensities

The SOC stocks ranged from 44.1 to 46.5 Mg ha⁻¹ for heavy and lower grazing intensities. Conversion of GF and natural pastures into crop land and adoption of 10 years of an ICLS resulted in an average decline of approximately 23% in SOC stocks, representing an emission of 49.5 Mg CO₂ ha⁻¹ (Table 4). Considering that land use change occurred during the 1960s and assuming that no SOC was lost after the ICLS establishment, annual SOC lost was

0.34 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. Davidson and Ackerman (1993) estimated that the conversion of native forest to crop land resulted in a decrease of 20 to 30% of the original SOC stocks. Van Den Bygaart et al. (2003) reported a decrease of 24% in SOC stocks when native forest was replaced by crop land in Canada. In Rio Grande do Sul, Tornquist et al. (2009) reported a severe SOC decline of 44-50% in agriculture systems.

Table 4

Soil organic carbon (SOC), particulate organic carbon (POC) and mineral-associated organic carbon (MAOC) stocks (Mg ha⁻¹) in 0-0.20 m soil layer for different grazing intensities under integrated crop-livestock system in Oxisol from South Brazil.

Grazing intensities (m)	SOC	POC (Labile C)	MAOC (Non-labile C)
Gallery forest	59.07 a (±2.19)	8.97 a (±1.54)	50.10 a (±2.20)
0.10 [§]	44.08 b (±0.19)	3.72 c (±0.77)	40.79 b (±2.75)
0.20	46.60 b (±0.15)	4.45 bc (±0.76)	42.16 b (±1.64)
0.30	45.00 b (±1.26)	4.02 bc (±0.23)	41.28 b (±0.60)
0.40	46.51 b (±1.32)	4.89 b (±0.45)	41.53 b (±1.12)

Means followed by the same letter, in the columns, do not differ by the Tukey's test ($p < 0.05$). [§] Sward height (m).

Stocks of SOC were statistically similar among pasture management systems (Table 4). The medium term experiment may not have provided enough time for treatments to express their effects on SOC stocks. Although not significant, the decrease in SOC stocks relative to GF for the 0-0.20 m soil depth was 15.0, 12.5, 14.1 and 12.6 Mg ha⁻¹ for sward height of 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m, respectively. Greatest loss of SOC (25%) was observed in the heavy grazing intensity treatment. This treatment had low carbon input derived from the dry matter (shoot + root) of the winter crop contribution (0.99 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) resulting in less total biomass carbon input (2.54 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) (Table 3). The C balance of soybean was expected to be negative or neutral according to studies carried out with eddy covariance (Hollinger et al., 2005). Under heavy grazing intensity, loss of SOC was explained by greater removal of photosynthetic plant tissue and subsequent respiration of assimilated C by grazers, reducing C inputs to build up SOC (Klumpp et al. 2009). Low and moderate (0.20 m sward height) grazing intensity treatments had lower SOC losses and were associated with higher C input than high grazing intensity (Table 3). Previously, Marchão et al. (2009) reported SOC depletion in ICLS (52.2 Mg ha⁻¹) compared to native vegetation (60.9 Mg ha⁻¹). However, the SOC decline was less in magnitude.

4.3.3 Relationships of SOC, CSR, CPI, CMI and LI

The SOC stocks (0-0.20 m) had a linear relationship with CSR ($p < 0.0003$) in the ICLS treatments (Fig. 3a). In our study, the CSR ranged from 1.41 (± 0.01) to 1.53 (± 0.03) under heavy and low grazing intensities, respectively (Table 5). Salton (2009) reported CSR values for an ICLS ranging from 1.40 to 1.64 in a tropical environment with a clayey Oxisol. Ferreira et al. (2013) reported similar CSR values (1.39 to 1.72) for Oxisols from Rio Grande do Sul State (Brazil) managed under no-till grain systems. In Paraná State (Brazil), Tormena et al. (2004) reported a CSR of 1.73 in a Red Distroferric Oxisol managed under no-till.

The strong relationship between SOC and CSR is the result of continuous aboveground C input and minimal soil disturbance to establish pasture and cash crops. Franzluebbbers (2013) reported that a high CSR helps to reduce soil erosion and runoff and stimulates soil biological activity and diversity, improving soil quality and the environment. The CSR had a linear relationship with the LI, suggesting that the quality of SOC is improved by surface crop residue input (Fig. 3d).

Table 5

Carbon stratification ratio (CSR), carbon pool index (CPI), carbon management index (CMI) and lability index (LI) indices (Mg ha^{-1}) in 0-0.20 m soil layer for different grazing intensities under integrated crop-livestock system in Oxisol from South Brazil.

Grazing intensities (m)	CSR	CPI	CMI	LI
	(0-0.10: 0.10-0.20 m)			
0.10 [§]	1.41 b (± 0.01)	0.75 a (± 0.01)	37.80 b (± 3.0)	0.50 b (± 0.02)
0.20	1.53 a (± 0.03)	0.79 a (± 0.01)	49.80 ab (± 1.4)	0.61 ab (± 0.01)
0.30	1.46 ab (± 0.01)	0.76 a (± 0.01)	41.40 ab (± 2.5)	0.55 ab (± 0.02)
0.40	1.52 a (± 0.03)	0.79 a (± 0.01)	52.60 a (± 2.48)	0.67 a (± 0.03)

Means followed by the same letter, in the columns, do not differ by the Tukey's test ($p < 0.05$). [§] Sward height (m).

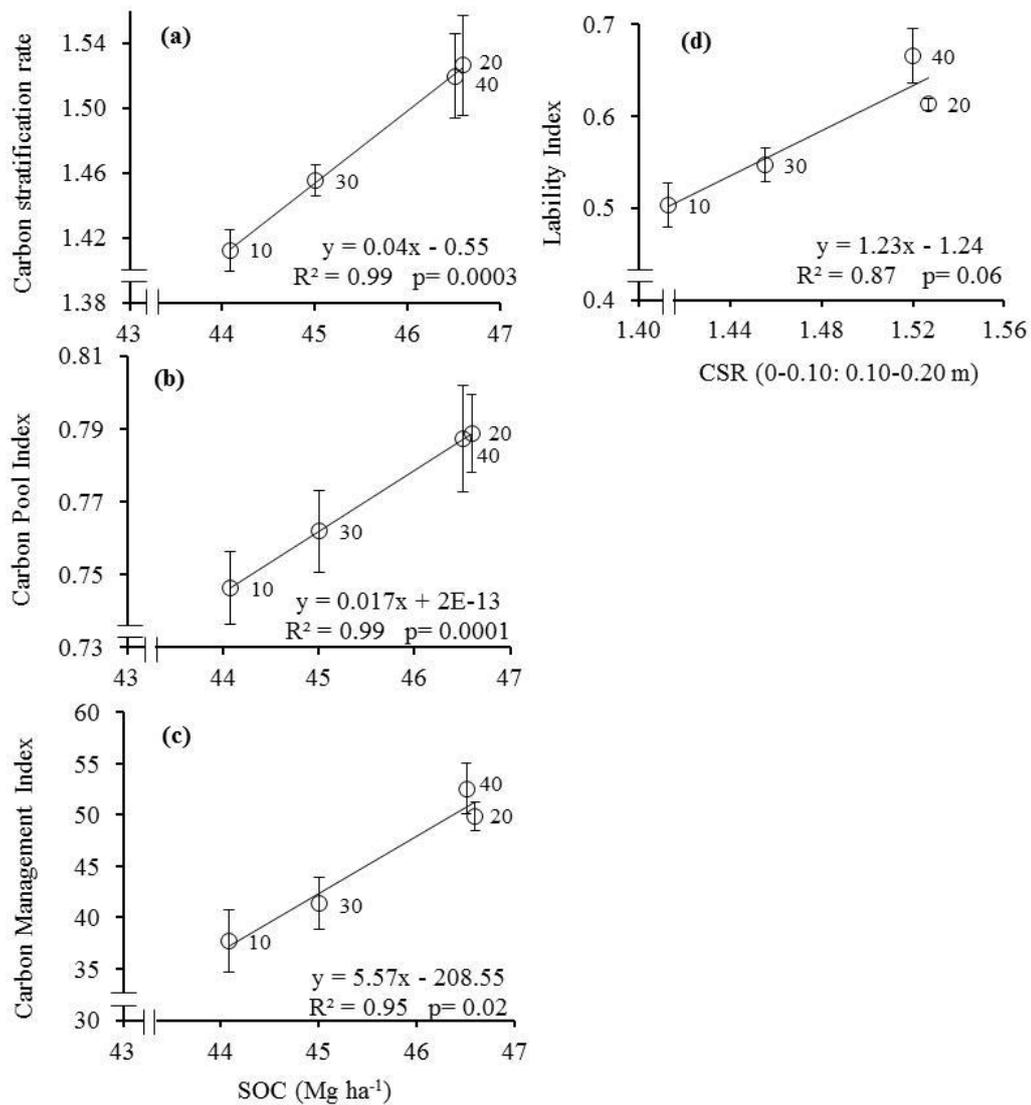


Fig. 3. Relationship between SOC stocks in the 0-0.20 m soil depth and carbon stratification ratio (CSR) (0-0.10: 0.10-0.20 m) (a), carbon pool index (CPI) (b) and carbon management index (CMI) (c). Relationship between CSR and lability index (*LI*) (d). Grazing intensity= 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m sward height.

Pasture heights of 0.20 and 0.40 m were considered to have high soil quality based on CSR values of 1.53 (± 0.03) and 1.52 (± 0.03), respectively (Table 5). Sward height of 0.10 m was classified as having low soil quality, with a CSR value of 1.41 (± 0.01). Franzluebbers (2002) suggested a CSR of 2.0 as a critical limit for maintaining soil quality in temperate climates. In our study, CSR values were lower than this limit (Table 5) due to the higher oxidative conditions in tropical and subtropical climates which explained the lower CSR (Ferreira et al., 2013). There is a need to establish critical CSR values for ICLS in tropical and subtropical climates.

The CPI has been reported as an efficient indicator of soil quality in temperate (Blair et al., 1995) and subtropical soils (Bayer et al., 2009). In our study, SOC stock (0-0.20 m) had a

linear relationship with CPI ($p < 0.0001$) (Fig. 3b). The CPI ranged from 0.75 (± 0.01) to 0.79 (± 0.01) under heavy and low grazing intensities, respectively (Table 5). These CPI were lower than those reported in other works (Carvalho et al. 2010; Souza et al. 2009) on the same site, because the reference treatment was ungrazed natural vegetation.

The SOC stocks (0-0.20 m) also had a linear relationship with CMI ($p < 0.02$) (Fig. 3c). The CMI ranged from 37.80 (± 3.00) to 52.60 (± 2.48) under heavy and low grazing intensities, respectively (Table 5). The heavy grazing intensity indicated a loss of SOC quality (CMI), being approximately 28, 24 and 9% less compared to treatment 0.40, 0.20 and 0.30 m, respectively. These results are in agreement with those presented by Souza et al. (2009), where the highest CMI was reported under moderate grazing intensity (0.20 m sward height) in comparison to treatments without grazing. Conte et al. (2011) and Salton (2009) reported similar results. All C indices consistently ranked treatments and were useful indicators of changes in soil quality induced by grazing intensity (Fig. 3).

4.3.4 Carbon balance in integrated crop-livestock system

The C balance affected by different grazing intensities is shown in Table 6. The C balance ranged from -0.04 (± 0.03) to 0.37 (± 0.07) $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ under heavy and low grazing intensities, respectively. The heavy grazing intensity acted as source of C to the atmosphere, while the moderate grazing intensity treatment was a slight sink. The treatments with 0.30 and 0.40 m sward heights acted as an atmospheric C sink in the range of 0.25 (± 0.05) to 0.37 (± 0.07) $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectively. These results were in agreement with Santos et al. (2011), who reported a C sequestration rate of $0.32 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ over a two-year ryegrass pasture/grain crop rotation. Conant et al. (2001) reported a C sequestration rate ranging from 0.11 to $3.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, with an average of $0.54 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Table 6

Soil carbon balance in different pasture management investigated by the carbon model proposed by Henin and Dupuis (1945) using the 0-0.20 m soil depth as reference.

Grazing intensities (m)	Biomass added †			C input	K ₁ x A § (Annual)	C Stock §§	K ₂ x C †† (Annual)	C balance dC/dt †††								
	AP ††	Root	Total													
Mg ha ⁻¹																
0.10*	4.17	d	1.95	a	6.12	d	2.54	d	0.50	d	44.08	a	0.53	a	-0.04	d
	(±0.54)		(±0.02)		(±0.50)		(±0.21)		(±0.04)		(±0.19)		(±0.05)		(±0.03)	
0.20	5.85	c	1.89	ab	7.74	c	3.21	c	0.63	c	46.60	a	0.56	a	0.06	c
	(±0.91)		(±0.09)		(±1.00)		(±0.39)		(±0.06)		(±0.15)		(±0.04)		(±0.03)	
0.30	7.83	b	1.80	b	9.63	b	4.06	b	0.79	b	45.00	a	0.54	a	0.25	b
	(±0.25)		(±0.03)		(±0.30)		(±0.11)		(±0.02)		(±1.26)		(±0.02)		(±0.05)	
0.40	9.61	a	1.70	c	11.30	a	4.80	a	0.93	a	46.51	a	0.56	a	0.37	a
	(±0.60)		(±0.01)		(±0.60)		(±0.26)		(±0.05)		(±1.32)		(±0.02)		(±0.07)	

Means followed by the same letter, in the columns, do not differ by the Tukey's test ($p < 0.05$). † Biomass added over one year: Italian ryegrass intercropped with black oat + soybean; †† AP = aerial part; § K₁ x A = humidified carbon based on the coefficient (K₁ = 0.194) proposed by Campos (2006), where, A = carbon input; §§ C stock; †† K₂ x C = C loss calculated based on the oxidation coefficient, K₂ = 0.012 proposed by Bayer (1996), where, C = C stock; ††† dC/dt = -K₂C^{††} + K₁A[§]; * Sward height (m).

These results suggest increased pasture grazing compromises the potential of an ICLS to act as a C sink. This result is attributed to the decrease of pasture in the composition of total C input under heavy grazing intensity (Table 3) and with soybean monocropping, consequently reflecting a lower quality of soil (Fig. 3). McSherry and Ritchie (2013) showed that pasture using C4 plants drives soil C retention in comparison to soybean, a C3 plant. Studies carried out in the USA showed that soybeans contribute 0.15 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ to the atmosphere (Hollinger et al. 2005). These results were attributed to a limited root system (Fig. 2), a low C/N ratio, and a high amount of C removed by harvest. Therefore, under soybean monocropping, the ICLS could act as C sink only if the residual pasture C input was enough to compensate for the C loss in the crop phase.

Souza et al. (2009) reported that C loss in an ICLS could be associated with pasture degradation (loss of plant vigor), high C residue removed by grazing and high soil respiration from an increase in biological activity due to excrement input from livestock. From an environmental point of view, the ICLS acted as an atmospheric C sink when the pasture grazing intensity was light (0.30 and 0.40 m sward height) (Table 6). Ferreira et al. (2012), investigating the C balance in a clay Oxisol managed under no-till, reported a demand for 6.5 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ of dry matter input to achieve soil C equilibrium. In our study, C input of >4.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (Table 6) with pasture participation of >50% of total C input was necessary for ICLS to act as a C sink (Table 3).

4.3.5 Resilience index

Assuming that soil resilience is the capacity of soil to recover its functional and structural integrity after a disturbance or stress, and using a heavy grazing intensity as the disturbance treatment, we calculated RI for different grazing intensities, based on the conceptual approach of Herrick and Wander (1997). The moderate and low grazing intensities showed the highest RI (Table 7). The 0.30 m sward height treatment showed an intermediate RI value, which was most likely due to lower root C input compared with the 0.20 m sward height and lower shoot C input compared to the 0.40 m sward height (Fig. 2). Santos et al. (2011) showed that root C input plays a crucial role in soil C accumulation.

Table 7

Depletion rate, recovery rate and resilience index after conversion gallery forest and natural pastures into crop land and conversion from crop land to integrated crop-livestock system in South Brazil.

Grazing intensities (m)	Depletion rate [§]	Recovery rate ^{§§}	RI ^{§§§}
0.10 [*]	0.83 a (±0.02)	-----	-----
0.20	0.69 b (±0.04)	0.14 a (±0.02)	0.17 a (±0.04)
0.30	0.78 a (±0.02)	0.05 b (±0.03)	0.06 b (±0.02)
0.40	0.70 b (±0.02)	0.14 a (±0.02)	0.16 a (±0.02)

Means followed by the same letter, in the columns, do not differ by the Tukey's test ($p < 0.05$). [§] Depletion rate = $(SOC_{GF} - SOC_{trt})/t$; ^{§§} Recovery rate = $(SOC_{trt} - SOC_{trt10})/t$; ^{§§§} RI = $(SOC_{trt} - SOC_{trt10})/(SOC_{GF} - SOC_{trt10})$; * Sward height (m).

4.3.6 Livestock and crop productivity relationships with soil quality

Integrated systems of livestock and grain crop production should be designed to stimulate the synergistic interactions between animals, plants and soils, using a holistic approach in which the integrity and functionality of the whole system is more important than one specific phase. For example, if cattle are not removed from winter pasture early enough, overgrazing with negative consequences to the next phases of the ICLS could occur. Integrated systems will only achieve high levels of efficiency when all phases are working in harmony.

Heavy grazing intensities are generally associated with short-term degradation of pasture (Almeida et al., 2000) and with medium and long-term unsustainability of the whole integrated system. Mott (1973) reported that optimal grazing intensity should reconcile the gain per area and the gain per animal without exploiting the pasture and soil quality.

In Fig. 4, relationships of animal productivity, grazing intensities and CMI, as an indicator of soil quality, are shown. Animal performance per area is inversely related to sward height. Thus, highest animal gain (Fig. 4a) and gross income (Fig. 4c) were observed in the 0.10 m sward height, but soil quality (CMI) was lowest. These results suggest that the positive gross income in this treatment would be unsustainable in the long-term because it was at the expense of soil quality (Table 6). Other side effects reported from the heavy grazing intensity were degradation of physical and biological soil attributes (Flores et al., 2007). Limited plant residue input to soil (Table 6) is unfavorable for the sustainability of a no-till system (Carvalho et al., 2010; Ferreira et al., 2012).

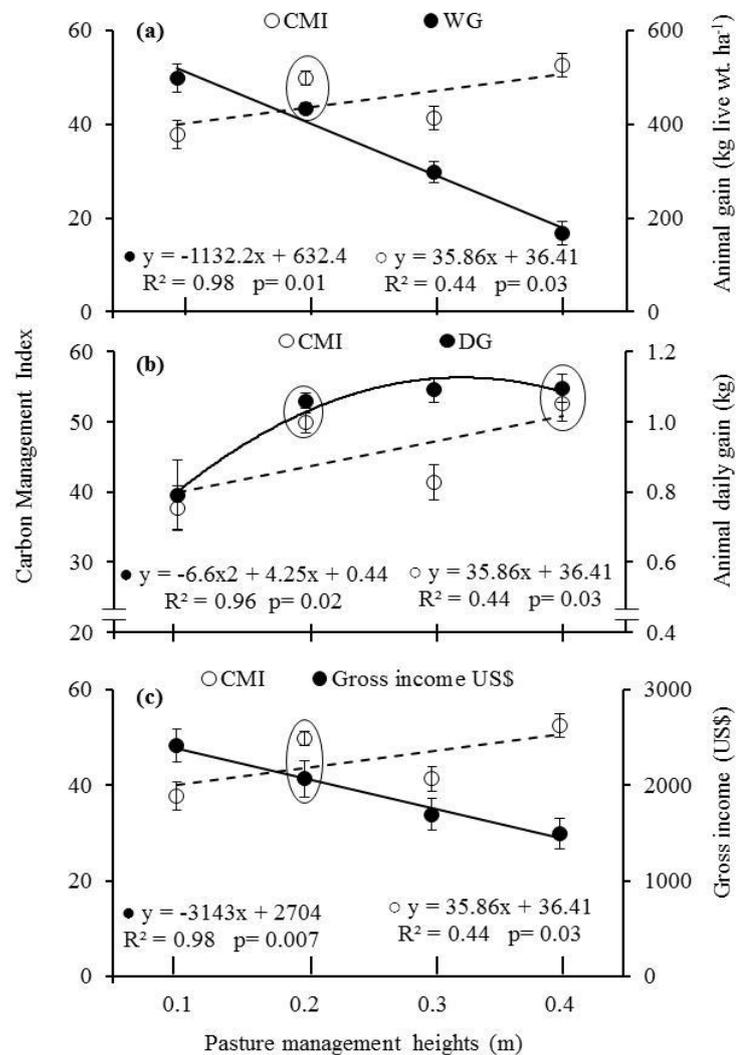


Fig. 4. Relationship between different grazing intensities and carbon management index (CMI), and live weight gain per unit area (WG) (a); CMI and animal daily gain (DG) (b) and CMI and gross income (US\$) (c). WG and DG = averaged of 2001-2010. Source: Carvalho et al. (2011) and Bremm et al. (2012).

The 0.40 m sward height yielded the smallest animal gain per unit area (Fig. 4a) and lowest gross income (Fig. 4c) but showed the highest CMI, suggesting that its main effect was

to enhance soil quality and environmental protection (Table 4). The treatment that provided a balance between soil quality, animal performance and economic return was the 0.20 m sward height. This treatment had higher animal gain per unit area without compromising soil quality (Fig. 4) and pasture persistence (Carvalho et al, 2011).

The 0.10 m sward height had poor animal daily gain (Fig. 4b), delayed termination of steers at the end of the grazing cycle, and had poor soil quality (Fig. 4b), suggesting an unsustainable system (Almeida et al., 2000). The best balance between soil quality and animal daily gain occurred in sward heights of 0.20 and 0.40 m. The daily gain value under moderate grazing intensity was 95% of maximum (1.12 kg) at 0.32 m sward height (based on the equation $y = 0.44 + 4.25X - 6.6X^2$, Fig. 4b). Therefore, moderate grazing intensity allows early termination of steers during the pasture cycle, an attractive gross income, and maintains or enhances soil quality.

4.4 Conclusions

The SOC stocks under different grazing intensities was related to indices of soil quality. The highest CSR and CPI were found in the treatment with moderate grazing intensity.

The integrated crop-livestock system acts as source or a sink of atmospheric carbon depending on the grazing intensity. Under heavy grazing intensity, the system was a source ($0.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), and under light grazing intensity, it was a sink in the range of 0.25 to $0.37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Pastures managed at 0.20 and 0.40 m sward height had the best balance between CMI and animal daily gain. The best balance between CMI and live weight gain per unit area, CMI and economic return, occurred in sward height of 0.20 m.

Acknowledgements

The authors are grateful to Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for financial support. The help provided by Taise Kunrath, Sérgio Ely Costa, Paulo Vieira and Jhon Lennon during collecting samples in the field, and Fernando Machado Pfeifer and Marcelo Tischler during the laboratory analysis are duly acknowledged.

4.5 References

- Almeida, E.X., Maraschin, G.R., Harthmann, O.E.L., Filho, H.M.N.R., Setelich, E.A., 2000. Forage on offer of 'mott' dwarf elephantgrass and animal response. *Rev. Bras. Zootec.* 29, 1288-1295.
- Amado, T.J.C., Bayer, C., Conceição, P.C., Spagnollo, E., Campos, B.H.C., Veiga, M., 2006. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. *J. Environ. Qual.* 35, 1599-1607.
- Balbinot, Jr., A.A., Backes, R. L., Tôrres, A.N.L., 2004. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. *Rev. Cienc. Agrovet.* 3, 38-42.
- Barthram, G.T., 1986. Experimental techniques: the HFRO sward stick. Biennial Report 1984-1985. Hill Farming Research Organization, Penicuik, pp.29-30.
- Bayer, C., 1996. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. In: Ph.D. Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Bayer, C., Dieckow, J., Amado, T.J.C., Eltz, F.L.F., Vieira, F.C.B., 2009. Cover Crop Effects Increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. *Commun. Soil Sci. Plant.* 40, 1499-1511.
- Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., Lisle, L., 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.* 46, 1459-1466.
- Boddey, R.M., Macedo, R., Tarré, R.M., Ferreira, E., Oliveira, O.C., Rezende, C.P., Cantarutti, R.B., Pereira, J.M., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., 2004. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, 389-403.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., Van Den Bygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 29–42.

Bremm, C., Oliveira, C.A.O., Kunrath, T.R., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., 2012. Economic and productive equilibrium in long-term integrated crop-livestock system experiment in Southern Brazil. In: *Proceedings of the 2th International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems*, October 8-12, Porto Alegre, Brazil.

Cambardella, C.A., Elliot, E.T., 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56,777-783.

Campos, B.C., 2006. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob Sistemas de Preparo de Solo e de Culturas. In: *Doctoral Thesis*. Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil.

Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., Silva, J.L.S., Conte, O., Wesp, C.L., Levien, R., Fontaneli, R.S., Bayer, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 88, 259-273.

Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Kunrath, T.R., Martins, A., Costa, S.E.V.G.A., Silva, F.D., Assmann, J.M., Lopes, M.L.T., Pfeifer, F.M., Conte, O., Souza, E.D., 2011. Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil, Porto Alegre (Boletim Técnico).

Causarano, H.J., Franzluebbbers, A.J., Shaw, J.N., Reeves, D.W., Raper, R.L., Wood, C.W., 2008. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 221-230.

Chen, Y., Lee, P., Lee, G., Mariko, S., Oikawa, T., 2006. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. *Plant Ecol.* 183, 265-275.

Conant, R.T., Paustian, K., Elliott, E.T., 2001. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecol. Appl.* 11, 343-355.

Conte, O., Levien, R., Trein, C.R., Cepik, C.T.C., Debiasi, H., 2007. Soil density, aggregation and carbon fractions of an alfisol under natural pasture and different herbage allowance. *Eng. Agríc.* 27, 222-228.

Conte, O., Wesp, C.L., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Levien, R., Nabinger, C., 2011. Soil density, aggregation and carbon fractions of an alfisol under natural pasture and different herbage allowance. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 35, 579-587.

Davidson, E.A., Ackerman, I.L., 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20, 161-193.

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A.H., Li, H., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 3, 1-25.

Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D. P., Kögel-Knabner, I., 2005. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant Soil* 268, 319-328.

Dieckow, J., Bayer, C., Conceição, P.C., Zanatta, J.A., Martin-Neto, L., Milori, D.B.M., Salton, J.C., Macedo, M.M., Mielniczuk, J., Hernani, L.C., 2009. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 240-249.

Dubeux, Jr., J.C.B., Sollenberger, L.E., Mathews, B.W., Scholberg, J.M., Santos, H.Q., 2007. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Sci.* 47, 915-928.

Dubeux, Jr., J.C.B., Sollenberger, L.E., Gaston, L.A., Vendramini, J.M.B., Interrante, S.M., Stewart, Jr., R.L., 2009. Animal behavior and soil nutrient redistribution in continuously

stocked pensacola bahiagrass pastures managed at different intensities. *Crop Sci.* 49, 1503-1510.

Ellert, B.H., Bettany, J.R., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75, 529-538.

EMBRAPA, 1997. Manual de métodos de análise de solos. In: EMBRAPA/CNPS: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisas de Solo, Rio de Janeiro.

Euclides, V.P.B., Valle, C.B., Macedo, M.C.M., Almeida, R.G., Montagner, D.B., Barbosa, R.A., 2010. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. *Rev. Bras. Zootec.* 39, 151-168.

Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A., 2011. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*, third ed. Boca Raton, CRC Press.

Ferreira, M.C., Andrade, D.S., Chueire, L.M.O., Takemura, S.M., Hungria, M., 2000. Effects of tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. *Soil Biol. Biochem.* 32, 627-637.

Ferreira, A.O., Sá, J.C.M., Harms, M.G., Miara, S., Briedis, C., Netto, C. Q., Santos, J.B., Canalli, L.B.S., 2012. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 36, 1583-1590.

Ferreira, A.O., Amado, T.J.C., Nicoloso, R.S., Sa, J.C.M., Fiorin, J.E., Hansel, D.S.S, Menefee, D., 2013. Soil carbon stratification affected by long-term tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 133, 65-74.

Flores, J.P.C., Anghinoni, I., Cassol, L.C., Carvalho, P.C.F., Leite, J.G.D.B., Fraga, T.I., 2007. Soil physical attributes and soybean yield in an integrated livestock-crop system with different pasture heights in no-tillage. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 31, 771-780.

Franzluebbers, A.J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66, 95-106.

Henin, S., Dupuis, M., 1945. Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques* 15, 17-29.

Herrick, J.E., Wander, M.M., 1997. Relationships Between Soil Organic Carbon and Soil Quality in Cropped and Rangeland Soils: the Importance of Distribution, Composition and Soil Biological Activity. CRC Press, Boca Raton, FL.

Hodgson, J., 1990. Grazing management. Longman Handbooks in Agriculture, Hong Kong.

Hollinger, S.E., Bernacchi, C.J., Meyers, T.P., 2005. Carbon budget of mature no-till ecosystem in north central regions of the United States. *Agric. Forest Meteorol.* 130, 59–69.

Islam, K.R., Weil, R.R., 2000. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conserv.* 55, 69-78.

Klumpp, K., Fontaine, S., Attard, E., Leroux, X., Gleixner, G., Soussana, J.F., 2009. Grazing triggers soil carbon loss by altering plant roots and their control on soil microbial community. *J. Ecol.* 97, 876–885.

Marchão, L.R., Becquer, T., Brunet, D., Baldino, N.C., Vilela, L., Brossard, M., 2009. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil Till. Res.* 103, 442–450.

Mauli, M.M., Nóbrega, L.H.P., Rosa, D.M., Lima, G.P., Ralish, R., 2011. Variation on the amount of winter cover crops residues on weeds incidence and soil seed bank during an agricultural year. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 54, 683-690.

Mcsherry, M.E., Ritchie, M.E., 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Glob. Change Biol.* 19, 1347-1357.

MAPA, 2013. Estatísticas e Dados Básicos de Economia Agrícola, Janeiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, <http://www.agricultura.gov.br> (accessed 19.02.13).

Mott, G.O., Lucas, H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials in cultivated and improved pastures. In: Wagner, R.E., Myers, W.M., Gaines, S.H., Lucas, H.L. (Eds.), Proceedings 6th International Grassland Congress, Pennsylvania State College, PA, 17–23 August., pp. 1380–1385.

Mott, G.O., 1973. Evaluating forage production, in: Heath, M.E., Metcalfe, D.S., Barnes, R.F. (Eds.), Forages, Iowa State University, Ames, pp. 126-135.

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G., ISRIC-UNESP 1991. World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation. An Explanatory Note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD).

Reichert, J.M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D.J., Horn, R., Hakansson, I., 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till. Res.* 102, 242-254.

Sá, J.C.M., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Venske Filho, S.P., Piccolo, M.C., Feigl, B.E., 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1486-1499.

Sall, J., Creighton, L., Lehman, A., 2005. *JMP start Statistics: A Guide to Statistics and Data Analysis Using JMP and JMP IN Software*. Duxbury Press, Cary, NC.

Salton, J.C., 2009. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, in: V Brazilian Congress of Soybean, Mercosoja, Goiânia, CD-ROM.

Santos, N.Z., Dieckow, J., Bayer, C., Molin, R., Favaretto, N., Pauletti, V., Piva, J.T., 2011. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil Till. Res.* 111, 208–218.

Souza, E.D., Costa, S.E.V.G., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Andrigueti, M., Cao, E., 2009. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop-livestock integration system under different grazing intensities. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 33,1829-1836.

Sulc, R.M., Tracy, B.F., 2007. Integrated crop-livestock systems in the US corn belt. *Agron. J.* 99, 335–345.

Tormena, C.A., Friedrich, R., Pintro, J.C., Costa, A.C.S., Fidalski, J., 2004. Soil physical properties and organic carbon stratification rate in an oxisol after ten years under two different soil management systems. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 28, 1023-1031.

Tornquist, C.G, Mielniczuk, J., Cerri, C.E.P., 2009. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibiruba (Brazil) with the Century Model. *Soil Till. Res.* 105, 33-43.

Van Den Bygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., 2003. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83, 363–380.

Vieira, F.C.B., Bayer, C., Zanatta, J.A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., HE, Z.L., 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil Till. Res* 96, 195–204.

5 CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO DE PLACAS DE ESTERCO AFETADA PELO MANEJO DA PASTAGEM E SUA RELAÇÃO COM A VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Resumo

Em sistemas de ILP, a presença do animal na fase da pastagem impõe maior heterogeneidade ao solo e o emprego de ferramentas de AP em ILP ainda é incipiente no Brasil, porém seu uso pode contribuir para o aperfeiçoamento do sistema. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a distribuição espacial de placas de esterco e sua relação com a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da soja. As placas de esterco dos novilhos foram georreferenciadas entre 06 de julho e 03 de novembro de 2010, durante o ciclo de pastejo dos bovinos, a cada 20 dias, usando GPS geodésico, assim mapas digitais foram criados baseados na distribuição acumulada durante o período avaliado, onde para cada posição das placas de esterco foram criados Polígonos de Thiessen. O delineamento experimental utilizado foi o arranjo fatorial 2x4, sendo dois tratamentos de aporte de placas de esterco (com e sem) e quatro alturas de manejo do pasto (10, 20, 30 e 40 cm). Todos os parâmetros de solo, por possuírem informação geoespacial, foram interpolados, formando uma estrutura matricial com dimensões de quadrículas de 10 x 10 m, sendo esse processo necessário para que todos os dados utilizados possuíssem a mesma resolução espacial. Para a colheita georreferenciada dos dados, contou-se com o auxílio de colhedoras com conjunto de ferramentas, como sensores de produtividade e umidade. Concluiu-se que a presença de placas de esterco afetou a ciclagem dos nutrientes P e K no solo em relação a locais sem esterco na pastagem. O tratamento de altura do pasto de 0,10 m apresentou o maior teor de P no solo em relação ao tratamento de 0,40 m. O diâmetro médio ponderado dos agregados foi maior no tratamento de 0,40 m em relação ao tratamento de 0,10 m e a densidade do solo foi semelhante entre as alturas do pasto. O tratamento de altura do pasto 0,10 m, que possuía uma distribuição mais homogênea de placas de esterco na área, apresentou maior variabilidade dos nutrientes P e K, e o tratamento de 0,40 m, que possuía o menor número de placas de esterco com distribuição concentrada em pontos atrativos, apresentou a menor variabilidade dos nutrientes. Em anos com restrição hídrica severa todos os tratamentos de altura do pasto foram afetados, sendo a produtividade média reduzida em 80% em relação as safras 2012/13 e 2013/14 sem restrição hídrica. Os principais componentes afetados pelo estresse hídrico foram o número de legumes por planta e o peso de 1000 grãos (safra 2011/12). No ano com restrição hídrica severa o tratamento de altura do pasto de 0,40 m, que proporcionou maior aporte de cobertura morta sobre o solo, apresentou a maior variabilidade de produtividade de soja.

5.1 Introdução

Em sistemas de ILP, a presença do animal na fase da pastagem impõe maior heterogeneidade ao solo, devido ao acúmulo de suas excreções (esterco e urina) em determinadas zonas ou locais atrativos, como cercas, cochos de água e sal, porteiras e sombras. Nestes locais preferenciais de deposição, alguns atributos químicos de solo, como o teor de P e K disponíveis, que estão presentes em maior quantidade nas excreções (HAYNES e WILLIAMS, 1993), são incrementados em relação ao restante das áreas da pastagem, que recebe menor intensidade de esterco. A deposição de esterco na fase de pastagem afeta positivamente a produtividade das culturas de grãos na fase de lavoura (DA SILVA et al., 2014), pois a adição de resíduos de origem vegetal e animal ao solo estabelecem um fluxo de nutrientes, cuja magnitude pode promover alterações da atividade biológica, do estado de agregação do solo (LOVATO et al., 2004). O fluxo contínuo de liberação de nutrientes oriundo da decomposição dos estercos pode ser maior, quando comparado às gramíneas, pelo fato de que o esterco já sofreu uma pré-decomposição no rumem animal e isso fará com que alguns nutrientes estejam mais solúveis (ASSMANN, 2013).

Os herbívoros podem alterar a ciclagem de nutrientes do solo por alterar a dinâmica de sua decomposição, pois participam direta e indiretamente na ciclagem de nutrientes do ecossistema de pastagem. De forma indireta, pela ingestão da forragem, os animais estimulam o crescimento das plantas pastejadas e, assim, levam as plantas a absorver mais nutrientes do solo. De forma direta, o animal participa na reciclagem dos nutrientes por meio da excreção de esterco e urina (CANTARUTTI et al., 2001). A intensidade de pastejo pode acelerar ou retardar a ciclagem de nutrientes, por alterar as condições bióticas e abióticas do solo para a decomposição (SHARIFF et al., 1994).

Dentro desta perspectiva, é pouco conhecida a variabilidade espacial e temporal do impacto dos animais nos sistemas integrados, assim o uso de modernas ferramentas da AP pode contribuir para o conhecimento da variabilidade de atributos do solo e da planta, tanto na fase de pastagem como na de lavoura, possibilitando fazer ajustes no manejo, visando incrementar a eficiência do sistema. Entre as ferramentas da AP que podem ser utilizadas na ILP destacam-se: a amostragem intensa e georreferenciada do solo, mapas de colheita com base em sensor de produtividade, sensores de vigor de plantas, sensores de condutividade elétrica, sensores de clorofila, imagens aéreas, imagens de satélites, utilização de drones entre outras.

Os mapas de colheita são uma importante e tradicional ferramenta da AP, pois auxiliam na identificação e quantificação do desempenho vegetal através da variabilidade da produtividade das culturas (HAN et al., 1994). Porém, não fornece todas as razões para a variabilidade observada (COELHO, 2005). Assim, o desempenho vegetal pode estar associado com características intrínsecas da área (por exemplo, topografia, textura e profundidade do solo; propriedades físicas e químicas do solo) ou características induzidas pelo manejo antrópico (lotação de animais, altura de corte da pastagem, método de pastoreio, etc.) (AMADO et al., 2009; DAMPNEY e MOORE, 1999; DOERGE, 1999).

Tradicionalmente, a prospecção da variabilidade espacial de atributos da fertilidade do solo tem sido utilizada para subsidiar a interpretação dos mapas de colheita. A variabilidade espacial, expressa pelo coeficiente de variação de alguns atributos, como os teores de P e K disponíveis, podem ser altos em áreas que recebem excreções dos animais durante a fase de pastagem (DUBEUX, Jr. et al. 2014; SILVA, 2013; WOLLENHAUPT et al., 1994). A existência de variabilidade espacial de atributos de solo e de planta é um dos pré-requisitos para o manejo sítio-específico. Com isto, pode-se gerar um mapa temático de representação de zonas de ocorrência de deficiências ou de excesso de nutrientes dentro de uma lavoura, que poderão demandar intervenções de manejo diferenciadas.

O emprego de ferramentas de AP em ILP ainda é incipiente no Brasil, porém seu uso pode contribuir para o aperfeiçoamento do sistema. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a distribuição espacial de placas de esterco e sua relação com a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da soja.

5.2 Material e Métodos

Neste capítulo avaliou-se apenas as parcelas experimentais 9, 10, 11 e 12 (Figura 1; item 3), que correspondem aos tratamentos de altura do pasto 0,20 (1,3 ha), 0,10 (0,9 ha), 0,30 (1,6 ha) e 0,40 m (2,2 ha), respectivamente. A caracterização química inicial do solo, nas parcelas avaliadas, encontra-se na Tabela 1, e o histórico do experimento foi descrito anteriormente.

Tabela 1 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférrico em diferentes camadas nas parcelas experimentais avaliadas (Maio de 2001).

Tratamento	Camada	pH-H ₂ O	Ca	Cátions trocáveis ⁽¹⁾			K ⁽²⁾
				Mg	Al	H+Al	
m	m			-----cmol _c dm ⁻³ -----			--mg dm ⁻³ --
0,10	0,0-0,5	5,3	6,1	3,1	0,1	7,4	156
	0,5-0,10	5,1	5,3	2,5	0,3	7,7	95
0,20	0,0-0,5	5,0	5,3	2,8	0,3	8,5	178
	0,5-0,10	4,7	2,8	1,3	1,4	10,7	109
0,30	0,0-0,5	5,3	6,5	3,7	0,1	8,0	200
	0,5-0,10	4,8	3,7	1,8	0,9	10,3	101
0,40	0,0-0,5	5,0	4,5	2,4	0,3	7,6	170
	0,5-0,10	4,8	2,9	1,6	0,8	8,8	113

⁽¹⁾Extração com KCl/1 mol L; ⁽²⁾Método Mehlich 1.

5.2.1 Distribuição das placas de esterco

A carga animal do período de pastejo para manter as alturas de manejo do pasto em 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m foi de 1309, 918, 702 e 399 kg de peso vivo ha⁻¹, respectivamente. Assim, as placas de esterco dos novilhos foram georreferenciadas entre 06 de julho e 03 de novembro de 2010, durante o ciclo de pastejo dos bovinos, a cada 20 dias, usando GPS geodésico, conforme descrito em Silva (2012).

Em 25 de setembro, 16 de dezembro e 01 de novembro de 2010, dez placas de esterco foram selecionadas aleatoriamente em cada tratamento, onde foi medido o semi-eixo maior e menor para o cálculo da área média individual da placa, considerando-as como sendo uma elipse. Nas últimas duas avaliações dez placas de esterco, defecadas no dia, foram coletadas aleatoriamente dentro de cada tratamento e determinado o seu peso fresco e seco.

Para as variáveis de caracterização das placas de esterco foi realizada análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância. Quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, por meio do procedimento PROC MIXED no SAS v 9.1 (SAS Institute INC., USA).

Mapas digitais foram criados baseados na distribuição acumulada durante o período avaliado (Figura 1), usando o software ArcGIS 10.0, onde para cada posição das placas de esterco (coordenadas X e Y), foram criados Polígonos de Thiessen (GOOVAERTS, 2000; THIESSEN e ALTER, 1911;), para os quais as fronteiras dos polígonos são formadas pelas mediatrizes das linhas que unem 2 pontos adjacentes, conforme metodologia utilizada por Auerswald et al. (2009).

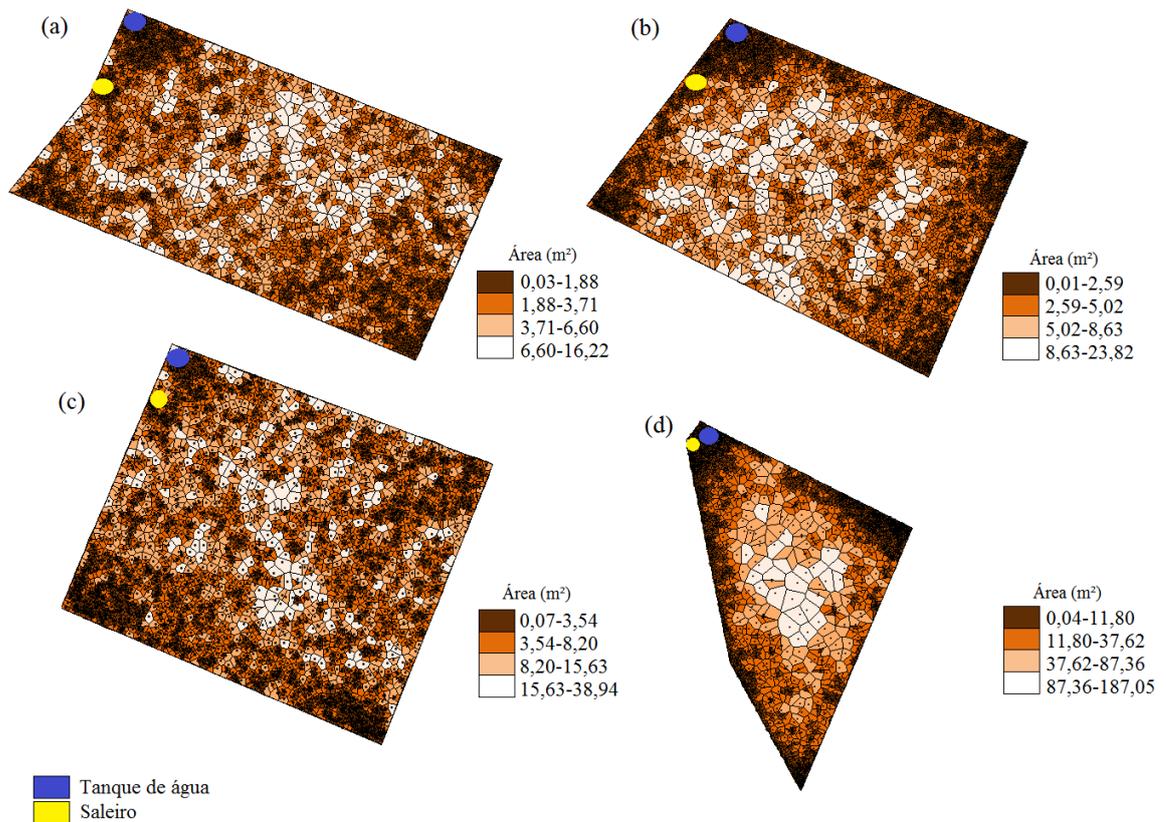


Figura 1 – Área dos polígonos de Thiessen da distribuição espacial das placas de esterco, nas alturas de manejo do pasto 0,10 (a), 0,20 (b), 0,30 (c) e 0,40 m (d), considerando todas as amostragens.

5.2.2 Caracterização dos atributos do solo

O delineamento experimental utilizado foi o arranjo fatorial 2x4, sendo dois tratamentos de presença de placas de esterco (com e sem) e quatro alturas de manejo do pasto (0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m). A partir do mapa gerado da distribuição espacial de placas de esterco (Figura 1), foram demarcados 12 pontos para coleta de solo, aleatorizados, em cada altura de manejo do pasto, sendo 6 em áreas com presença de esterco, correspondendo aos locais com as menores áreas de Thiessen, e 6 em áreas sem esterco, totalizando 48 parcelas.

A coleta de solo para caracterização química foi realizada em 18 de janeiro de 2011, na camada 0-0,10 m, utilizando-se um trado calador de forma manual. Cada amostra foi composta de 3 subamostras, coletadas num raio de no máximo 1 m ao redor do ponto georreferenciado. Após foram encaminhadas ao Laboratório de análises de solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde os teores de P e K disponíveis (Mehlich-1),

cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), teor de matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca de cátions ($\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$).

Para avaliação da densidade do solo (DS), em 09 de abril de 2011, coletaram-se amostras indeformadas, nos mesmos locais da amostragem química do solo, com anéis de 8,5 cm de diâmetro e altura de 7 cm, na camada de 0-0,10 m, conforme método proposto pela Embrapa (1997). A estabilidade de agregados em água foi determinada na camada 0-0,10 m, separando-se de cada classe a fração areia, utilizando-se o método descrito por Kemper e Chepil (1965). O peneiramento em água distribuiu os agregados nas classes de $> 4,76$, $4,76-2$, $2-1$, $1-0,5$, $0,5-0,25$ e $< 0,25$ mm. A partir desses valores, obteve-se o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), que foi calculado conforme a equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i)$$

em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total e x_i = diâmetro médio das respectivas classes (mm).

Os dados dos parâmetros químicos e físicos do solo foram analisados por meio de modelos lineares mistos, pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML), usando o procedimento PROC MIXED no SAS v 9.1 (SAS Institute INC., USA). Quando a análise mostrou teste significativo ($P < 0,05$) para os efeitos principais e as interações entre altura do pasto x input de esterco, as médias foram separadas usando a opção TUKEY no LSMEANS.

Todos os parâmetros de solo, por possuírem informações geoespacializadas, foram interpolados, formando uma estrutura matricial com dimensões de quadrículas de 10 x 10 m, sendo esse processo necessário para que todos os dados utilizados possuíssem a mesma resolução espacial. Para a construção dos mapas temáticos dos atributos investigados, o método de interpolação utilizado foi a *krigagem ordinária*, para os dados que apresentaram estrutura espacial, e o inverso do quadrado da distância, para os dados que não apresentaram estrutura espacial (efeito pepita puro). Os mapas temáticos foram gerados com auxílio do programa computacional CR - Campeiro7, sendo cada mapa constituído de um total de 685 quadrículas. A dependência espacial foi investigada com auxílio de semivariogramas experimentais e os ajustes matemáticos dos semivariogramas foram realizados usando o software GS+ 9.0, sendo que o melhor ajuste foi o esférico, concordando com estudos anteriormente realizados com alguns dos principais atributos do solo (CORÁ e BERBALDO, 2006; CHERUBIN et al., 2014; NANNI et al., 2011; SOUZA et al., 2014).

Para padronização do mapa de distribuição de esterco, formado por polígonos de tamanho e forma variada, na resolução espacial escolhida, foi sobreposta uma malha com resolução desejada (10 x 10 m) e o valor do pixel foi determinado pela média dos valores dos polígonos do mapa de esterco adjacente.

Os dados interpolados foram submetidos à análise estatística descritiva, objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa estatístico SAS 9.1 (SAS Institute Inc., USA). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, máximo, erro padrão e coeficientes de variação. A tendência central (normalidade) dos dados originais foi testada por meio do Teste de Shapiro-Wilk (Teste W, $p < 0,05$ e $p < 0,01$).

5.2.3 Manejo da lavoura de soja

A semeadura da soja foi realizada nos dias 16, 27 e 12 de novembro de 2011, 2012 e 2013, respectivamente. A cultivar semeada foi a Nidera 6411, de ciclo médio. Utilizou-se densidade de semeadura de 16 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. A semente foi inoculada previamente à semeadura com inoculante Nitrobacter, e juntamente com o tratamento de fungicida, foram utilizados os nutrientes cobalto e molibdênio. A colheita ocorreu nos dias 16, 09 e 06 de abril de 2012, 2013 e 2014, respectivamente.

Para todos os anos, na maturação plena da soja (95% das vagens com coloração de madura) foram coletadas aleatoriamente nos tratamentos, todas as plantas contidas em dois metros lineares, repetindo-se em cinco pontos por tratamento, para análise dos componentes de rendimento. Posteriormente, foram determinados o número médio de legumes por planta (leg pl^{-1}) e o peso de 1000 grãos (g), e foi estimado o número de grãos por legume (grãos leg^{-1}) dividindo-se, o número total de grãos pelo número médio de legumes por planta. O peso de 1000 grãos foi estimado pela pesagem de três amostras de 100 grãos e a média extrapolada para 1000 grãos. Para essas determinações foram utilizadas 10 plantas por tratamento. Os teores de umidade foram corrigidos para $0,13 \text{ kg kg}^{-1}$. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste F a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SAS 9.1 (SAS Institute Inc., USA) utilizando-se o “PROCGLM” para comparação de médias e, quando detectadas diferenças, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a este mesmo nível de significância.

Para a colheita georreferenciada dos dados de produtividade, utilizou-se duas colhedoras CASE modelos 8010 (ano 2012) e 8120 (ano 2013 e 2014) AFS axial-flow, equipadas com o

monitor AFS Pro 700 e plataforma de grãos modelo 2162 DRAPER 40 pés (12,2 m). O sistema AFS congrega um conjunto de ferramentas, como sensores de produtividade (contato), umidade e uma antena receptora GNSS AFS 372 da marca Trimble.

Após a colheita e armazenamento dos dados de produtividade, esses foram transferidos para um microcomputador com leitor de cartão de memória SD e equipado com o software AFS. Todos os dados de produtividade foram filtrados, eliminando-se pontos irreais, seguindo a metodologia de Menegatti e Molin (2004), e corrigiu-se a massa de grãos obtida pela colhedora, através de um fator de correção obtido com a massa de grãos real. Os teores de umidade foram corrigidos para $0,13 \text{ kg kg}^{-1}$.

Para se obter os dados de colheita da soja nos mesmos locais com e sem presença de esterco, buscou-se num raio de 10 m ao redor dos locais, os dados de colheita dos 3 anos subsequentes e obteve-se a média de produtividade. Utilizou-se a mesma metodologia de análise dos dados dos atributos de solo.

Os dados de colheita dos anos avaliados foram interpolados utilizando a mesma metodologia dos atributos de solo. Após os dados interpolados, estes foram submetidos à análise estatística descritiva, objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa estatístico SAS 9.1 (SAS Institute Inc., USA). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, máximo, erro padrão e coeficientes de variação. A tendência central (normalidade) dos dados originais foi testada por meio do Teste de Shapiro-Wilk (Teste W, $p < 0,05$ e $p < 0,01$).

A precipitação pluviométrica ocorrida durante o ciclo da cultura no ano agrícola 2011/12 foi medida por estação meteorológica instalada no local do experimento e no ano 2012/13 e 2013/2014 foi medida por pluviômetro instalado na sede da fazenda, que se localizava a cerca de 300 metros da área experimental (Figura 2).

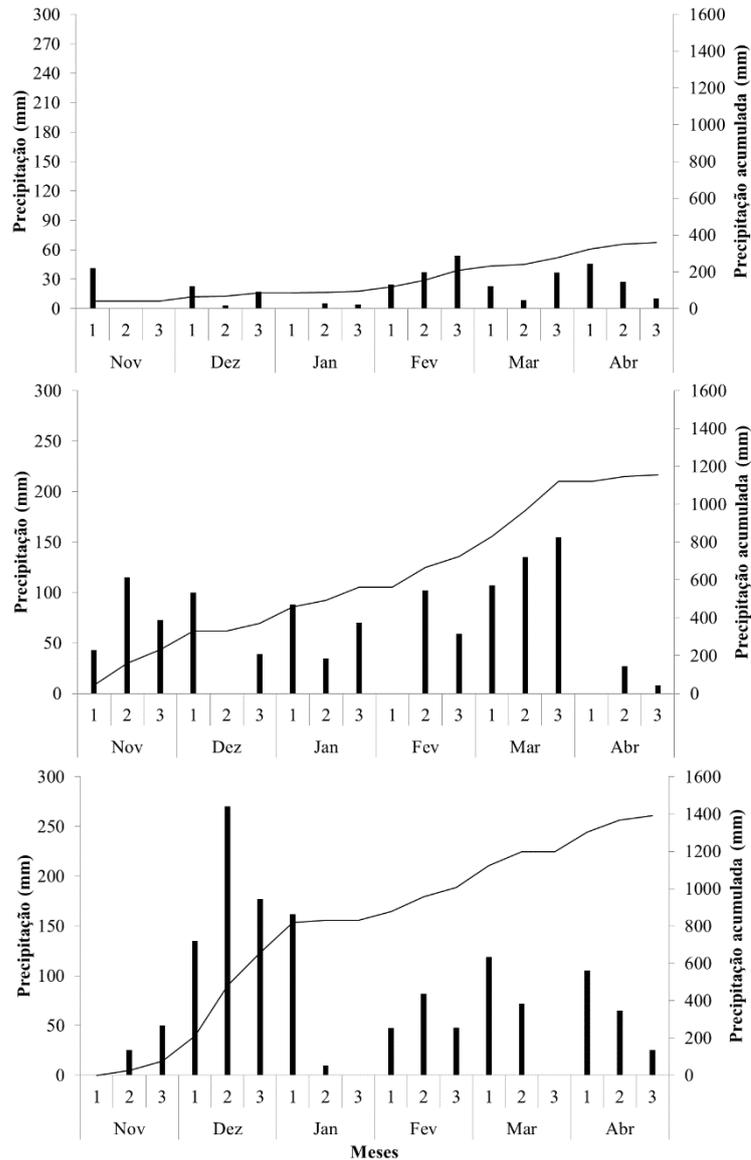


Figura 2 - Precipitação pluviométrica mensal e acumulada ocorrida nos anos agrícolas 2011/12 (a), 2012/13 (b) e 2013/14 (c).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Presença de placas de esterco e ciclagem de nutrientes

Totalizaram-se ao final do período de pastejo 3535, 3903, 3734 e 2467 placas de esterco nos tratamentos 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m de altura do pasto, respectivamente, sendo a área

média de $0,038 \pm 0,001 \text{ m}^2$, não havendo diferença entre os tratamentos ($p=0,7854$). Assim, a proporção da área da pastagem coberta por placas de esterco foi de 1,5; 1,1; 0,9 e 0,4% e o número de placas de esterco m^{-2} foi de 0,39, 0,29, 0,23 e 0,11, respectivamente, para as alturas de manejo do pasto 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m, ao final do período de pastejo.

Da mesma forma, o peso médio das placas de esterco não diferiu entre as alturas de manejo do pasto ($p=0,3469$), sendo a média de $1121,50 \pm 0,009 \text{ g}$. Outros autores registraram placas de esterco com área entre 0,05 e 0,09 m^2 (Haynes e Williams, 1993). Como o esterco possuía 15% de matéria seca (MS), a produção total de MS de esterco em cada tratamento foi 668,75, 478,03, 366,09 e 212,98 Kg ha^{-1} para os tratamentos 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m, respectivamente.

Para todos os atributos de solo avaliados, não houve interação significativa entre as alturas de manejo do pasto e a presença de placas de esterco. Por esta razão os efeitos das alturas de manejo do pasto e de presença de esterco foram analisados separadamente.

O teor de P no solo foi incrementado de acordo com o aumento da intensidade de pastejo (Tabela 2). Para os demais nutrientes não houve diferença significativa entre as alturas de manejo do pasto. Sistemas com a presença de animais e a consequente deposição de dejetos dos animais, por favorecer a ciclagem dos nutrientes, pode reduzir o uso de fertilizantes sintéticos no sistema (Russele et al., 2007). Conforme Assmann (2013), no mesmo protocolo experimental, o teor de P no esterco bovino foi de $6,55 \text{ g kg}^{-1}$. A autora observou que o teor de P presente no esterco é maior que os teores observados pelos demais resíduos do sistema (pasto+caule e folhas da soja), já que 95% do P ingerido retorna via esterco para o sistema (Haynes e Williams, 1993), em uma forma concentrada, por ter sofrido uma pré-degradação no rumen do animal. Sabendo-se que a produção total de MS de esterco aumentou conjuntamente com o aumento das intensidades de pastejo, devido à maior carga animal, a quantidade de P no resíduo do esterco foi maior ($4,38 \text{ kg ha}^{-1}$) para o tratamento de 0,10 m, em relação aos demais tratamentos. A quantidade de P_2O_5 que retornou ao solo via esterco bovino foi 10,03, 7,16, 5,50 e $3,21 \text{ kg ha}^{-1}$ para os tratamentos 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m, respectivamente.

Tabela 2 – Parâmetros químicos e físicos do solo em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Altura do pasto (m)	Parâmetros							
	P	K	Ca	Mg	MO	CTC _{pH 7,0}	DS	DMP
0,10	12,40 (±0,92) A	332,79 (±44,80) A	5,78 (±0,53) A	2,77 (±0,26) A	4,39 (±0,16) A	18,43 (±0,46) A	1,32 (±0,03) A	4,45 (±0,15) B
0,20	9,94 (±0,87) AB	332,79 (±42,03) A	5,17 (±0,49) A	2,73 (±0,25) A	4,50 (±0,15) A	17,55 (±0,43) A	1,23 (±0,03) A	4,76 (±0,14) AB
0,30	7,99 (±0,92) B	287,54 (±44,80) A	5,47 (±0,53) A	2,78 (±0,26) A	4,25 (±0,16) A	16,76 (±0,46) A	1,30 (±0,03) A	4,76 (±0,15) AB
0,40	7,85 (±0,87) B	286,73 (±42,03) A	4,59 (±0,49) A	2,33 (±0,25) A	4,28 (±0,15) A	16,96 (±0,43) A	1,23 (±0,03)A	5,08 (±0,14) A

Médias seguidas por diferentes letras na mesma coluna, diferem de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$); P: mg dm⁻³; K: mg dm⁻³; Ca: cmol dm⁻³; Mg: cmol dm⁻³; MO: %; DS: densidade do solo, Mg dm⁻³; DMP: diâmetro médio ponderado dos agregados, mm.

Já para o DMP (Tabela 2), os valores médios foram crescentes a medida que aumentou a altura de resíduo do pasto, sendo o maior valor para o tratamento 0,40 m. O DMP do tratamento 0,40 m foi incrementado em 14% em relação ao 0,10 m. A Tabela 3 apresenta a distribuição da percentagem de tamanho de agregados em seis classes de tamanho, nos diferentes tratamentos de altura do pasto. Observa-se que houve maior concentração de agregados na classe de maior tamanho, de 9,5-4,76 mm, sendo que o tratamento 0,40 m apresentou a maior média, seguida pelos tratamentos 0,30, 0,20 e 0,10, com valores de 64,87, 62,55 e 55,13 %, respectivamente.

Para a baixa intensidade de pastejo (0,40 m) a maior agregação do solo (9,5-4,76 mm) foi favorecida (Tabela 3), já para a alta intensidade de pastejo (0,10 m) foi observado em maior magnitude a distribuição de agregados entre 4,76-2,0 mm, assim como nas demais classes de tamanho de agregados. Isto demonstra uma hierarquia na agregação do solo.

Tabela 3 – Percentagem de agregados em seis classes de diâmetro, na profundidade de 0-0,10 m, em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Tratamento (m)	Classe de Tamanho de Agregados (mm)					
	9,5-4,76	4,76-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	<0,25
0,10	55,13	19,79	12,50	5,89	2,04	4,65
0,20	62,55	18,66	9,09	4,16	1,32	4,22
0,30	64,87	16,61	8,56	4,34	1,56	4,06
0,40	70,75	13,79	6,82	3,19	1,29	4,16

O aumento no DMP dos agregados, assim como a melhor agregação do solo são comumente observados em solos com sistema de manejo que promove grande adição de biomassa aérea e radicular (SOUZA et al., 2010), assim como em solos com maiores teores de matéria orgânica (carbono total e particulado), como anteriormente reportado para a altura de manejo do pasto de 0,40 m (SILVA et al., 2014), no mesmo protocolo experimental. Quando a decomposição do resíduo orgânico inicia, a liberação microbiana dos exsudatos estabiliza os agregados e, de acordo com a decomposição dos núcleos de matéria orgânica, a produção de agentes ligantes diminui até que os agregados maiores são divididos em menores (OADES, 1984). Portanto, com a adição constante de resíduos para o solo, estas pequenas estruturas são reorganizadas em estruturas maiores, que permanecem estáveis, mostrando a importância de se manter constante os fluxos de matéria orgânica (resíduos orgânicos), que continuamente liberam agentes ligantes (DEXTER, 1988).

Já o teor de P e K no solo diferiram nas áreas com presença e ausência de esterco, sendo maiores nas áreas com esterco (Tabela 4). Este resultado foi esperado, uma vez que estes são os principais nutrientes que retornam ao solo através dos excrementos dos animais (TEIXEIRA et al., 2012), como já discutido anteriormente para os teores de P. O teor de K no solo aumentou 116% ($232,15 \text{ mg dm}^{-3}$) em local com presença de esterco em relação a local sem esterco. Enquanto que, para o teor de P no solo este incremento foi 36% ($2,93 \text{ mg dm}^{-3}$). A concentração de K no esterco bovino ($19,61 \text{ g kg}^{-1}$) foi maior do que o P, segundo Assmann (2013). Dubeux Jr. et al. (2014), Schnyder et al. (2010) e Woodard et al. (2013) encontraram resultados similares de maior concentração de nutrientes, como P, K e Mg, em zonas com alta concentração de esterco. Com alta intensidade de pastejo pode retornar ao solo até $16,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , através do esterco bovino.

Tabela 4 – Parâmetros químicos e físicos do solo em relação a presença de esterco em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Presença de esterco	Parâmetros							
	P	K	Ca	Mg	MO	CTC _{pH 7,0}	DS	DMP
Com	11,01	433,03	4,99	2,56	4,30	17,42	1,28	4,73
	(±0,68)	(±32,92)	(±0,39)	(±0,19)	(±0,12)	(±0,34)	(±0,02)	(±0,11)
	A	A	A	A	A	A	A	A
Sem	8,08	200,88	5,51	2,75	4,41	17,43	1,26	4,79
	(±0,58)	(±28,33)	(±0,33)	(±0,17)	(±0,10)	(±0,29)	(±0,02)	(±0,09)
	B	B	A	A	A	A	A	A

Médias seguidas por diferentes letras na mesma coluna, diferem de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$); P: mg dm⁻³; K: mg dm⁻³; Ca: cmol dm⁻³; Mg: cmol dm⁻³; MO: %; DS: densidade do solo, Mg dm⁻³; DMP: diâmetro médio ponderado dos agregados, mm.

O esterco bovino em contato com o solo decompõe-se pela ação da chuva, pisoteio, microorganismos e mesofauna, liberando assim os nutrientes. O esterco pode ser incorporado ao solo em até 24 horas após contato com os coleópteros (MONTEIRO e WERNER, 1997). Portanto, a entrada de esterco bovino na fase de pastagem libera nutrientes para a fase da cultura da soja, incrementando a sua produtividade (DA SILVA et al., 2014), sugerindo que a presença do esterco melhora a ciclagem de nutrientes do solo, uma vez que a entrada de fertilizante mineral foi semelhante para todos os tratamentos.

5.3.2 Distribuição espacial de placas de esterco e dos atributos de solo

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da estatística descritiva das áreas dos polígonos de Thiessen e dos atributos químicos e físicos do solo nos diferentes tratamentos de altura do pasto, após interpolação. A discrepância entre os valores mínimos e máximos comprovam a existência de grande variabilidade entre tratamentos, comprovada pela ocorrência de distribuições assimétricas, ou seja, não apresentam distribuição normal.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos polígonos de Thiessen e atributos químicos e físicos do solo para os diferentes tratamentos de altura do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária.

Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾	Altura do pasto	Thiessen	Atributos							
			P	K	Ca	Mg	CTC ⁽³⁾	MO	DS ⁽⁴⁾	DMP ⁽⁵⁾
			--mg dm ⁻³ --				---cmol _c dm ⁻³ ---	%	Mg dm ⁻³	--mm--
n	0,10	96	96	96	96	96	96	96	96	96
n	0,20	153	153	153	153	153	153	153	153	153
n	0,30	179	179	179	179	179	179	179	179	179
n	0,40	257	257	257	257	257	257	257	257	257
Mínimo	0,10	0,7	6,4	185,8	3,3	1,9	16,8	3,3	1,1	3,9
Mínimo	0,20	1,2	6,4	204,1	3,3	1,8	16,4	4,0	1,1	4,0
Mínimo	0,30	0,1	5,2	90,8	2,9	1,8	15,8	3,2	1,1	4,7
Mínimo	0,40	1,0	5,3	140,3	2,9	1,4	13,8	3,9	1,1	4,5
Média	0,10	3,9	12,6	327,4	5,6	2,6	18,4	4,4	1,3	4,5
Média	0,20	5,6	10,4	377,8	4,8	2,4	18,5	4,8	1,2	4,6
Média	0,30	8,4	7,6	246,4	5,6	2,8	17,1	4,3	1,3	4,9
Média	0,40	37,8	7,6	254,4	4,6	2,3	16,8	4,3	1,2	5,2
Máximo	0,10	9,0	24,6	739,4	8,2	3,4	20,9	4,9	1,5	5,1
Máximo	0,20	18,9	23,2	690,0	7,2	3,7	20,4	5,2	1,4	5,2
Máximo	0,30	27,4	12,1	696,7	7,4	3,9	18,4	4,8	1,5	5,2
Máximo	0,40	187,2	11,9	431,9	8,1	4,4	19,9	5,0	1,4	5,7
Amplitude	0,10	8,3	18,2	553,6	4,9	1,5	4,1	1,6	0,4	1,1
Amplitude	0,20	17,7	16,8	485,8	3,9	1,8	3,9	1,2	0,3	1,2
Amplitude	0,30	27,3	7,0	605,9	4,6	2,1	2,6	1,6	0,3	0,6
Amplitude	0,40	186,1	6,6	291,6	5,3	3,0	6,1	1,2	0,3	1,2
Erro padrão (%)	0,10	0,17	0,38	13,39	0,12	0,04	0,11	0,04	0,01	0,03
Erro padrão (%)	0,20	0,22	0,31	8,19	0,07	0,03	0,06	0,02	0,01	0,03
Erro padrão (%)	0,30	0,38	0,12	8,37	0,06	0,02	0,06	0,02	0,01	0,01
Erro padrão (%)	0,40	2,37	0,10	3,74	0,06	0,04	0,09	0,02	0,004	0,02
CV (%)	0,10	43,11	29,24	40,08	21,37	14,37	6,05	9,07	6,49	7,40
CV (%)	0,20	49,56	36,74	26,82	16,92	17,09	4,25	5,69	4,84	7,15
CV (%)	0,30	60,80	20,78	45,44	13,46	10,97	4,62	6,45	5,27	2,34
CV (%)	0,40	100,42	21,31	23,57	21,45	26,38	8,20	5,77	4,95	4,93
SW ⁽²⁾	0,10	0,98 ^{ns}	0,96*	0,84**	0,97*	0,96*	0,87**	0,92**	0,97*	0,93**
SW	0,20	0,86**	0,72**	0,96**	0,98*	0,94**	0,99 ^{ns}	0,97*	0,89**	0,96**
SW	0,30	0,95**	0,94**	0,91**	0,98*	0,99 ^{ns}	0,93**	0,95**	0,95**	0,99 ^{ns}
SW	0,40	0,83**	0,93**	0,94**	0,93**	0,90**	0,96**	0,96**	0,98*	0,99**

⁽¹⁾ Parâmetros Estatísticos: n: número de observações (amostras); CV: coeficiente de variação; ⁽²⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em nível de $p < 0,05$, (**) significativo em nível de $p < 0,01$ e (^{ns}) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. ⁽³⁾ CTC: pH₇. ⁽⁴⁾ DS: densidade do solo. ⁽⁵⁾ DMP: diâmetro médio ponderado.

Com base no teste SW, a área de Thiessen apresentou valores que seguem a distribuição normal para o tratamento de altura do pasto 0,10 m (Tabela 5). A distribuição espacial pode ser observada na Figura 1, onde se verifica que sob menor altura de pastejo os animais distribuem as placas de esterco ao longo de toda a área, além da concentração de esterco em locais como o tanque de água e o saleiro. Este comportamento está associado com a intensificação da busca da forragem, aumentando o número total de bocados e conseqüentemente o maior deslocamento total pela área em pastos manejados com baixa altura e menor massa de forragem (BAGGIO et al., 2009). Comportamento semelhante foi encontrado por Dubeux, Jr. (2014) em pastejo rotativo de 1 dia, que promoveu maior uniformidade da distribuição do esterco na área, do que o rotativo de 7 dias. Por outro lado, na maior altura do pasto (0,40 m), as placas de esterco foram acumuladas preferencialmente em locais preferenciais (cercas, tanque de água e saleiro), pois neste tratamento o animal tem o menor número de bocados e conseqüentemente menor deslocamento total pela área em busca do alimento.

A amplitude dos valores das áreas de Thiessen aumentou conjuntamente com o aumento da altura do pasto (Tabela 5). Quanto menores os valores de Thiessen, indicam que as placas de esterco estão próximas umas das outras e, maiores, indicam maior distância entre uma placa e outra. Por outro lado, a amplitude dos teores de P e K do solo tiveram comportamento inverso. Como já mencionado, a carga animal foi aumentando a medida que as alturas do pasto foram diminuindo, fazendo com que média dos teores de P e K deste tratamento (0,40 m) fosse menor do que verificado na menor altura do pasto (0,10 m). Os teores de P e K no solo foram os mais afetados pelo acúmulo de esterco dos bovinos, sendo os valores máximos de teores de P incrementado em 107% e de K em 90% comparando a altura de 0,10 m com a de 0,40 m. Para os valores mínimos os teores de P foram incrementados em 21% e os de K em 32,5%. Sugere-se que a deposição de esterco influenciou principalmente os valores máximos destes nutrientes, o que está de acordo com a deposição localizada deste fertilizante orgânico.

Quanto à dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores de coeficientes de variação (CV%), os atributos que apresentaram os valores de CV moderados (15-35%) a altos (>35%) (WILDING e DRESS, 1983) foram os teores de P e K. De um modo geral, os teores de P apresentaram moderados valores de CV, exceção da altura de 0,20 m. Já para o K, as alturas de 0,10 e 0,30 m apresentaram CV alto e as demais moderado. As variações observadas (Tabela 5) estão de acordo com os resultados encontrados por diversos autores, em áreas manejadas sob latossolos no RS (AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011; CHERUBIN et al., 2014; SANTI et al., 2012).

Os teores máximos de Ca, Mg, MO e $CTC_{pH\ 7,0}$ foram semelhantes entre as alturas de manejo do pasto. Para os valores mínimos os teores de Ca foram incrementados em 14%, os de Mg em 36%, de MO em 18% e de $CTC_{pH\ 7,0}$ em 22% do tratamento de maior altura do pasto (0,40 m) em relação ao de menor altura (0,10 m). Já os valores máximos foram semelhantes para estas variáveis. O CV dos teores de Ca e Mg foram moderados a baixos e da MO e $CTC_{pH\ 7,0}$ foram baixos.

A espacialização dos dados na forma de mapas revelou comportamentos distintos dos atributos avaliados para os diferentes tratamentos de altura do pasto (Figura 3), reforçando os resultados discutidos anteriormente.

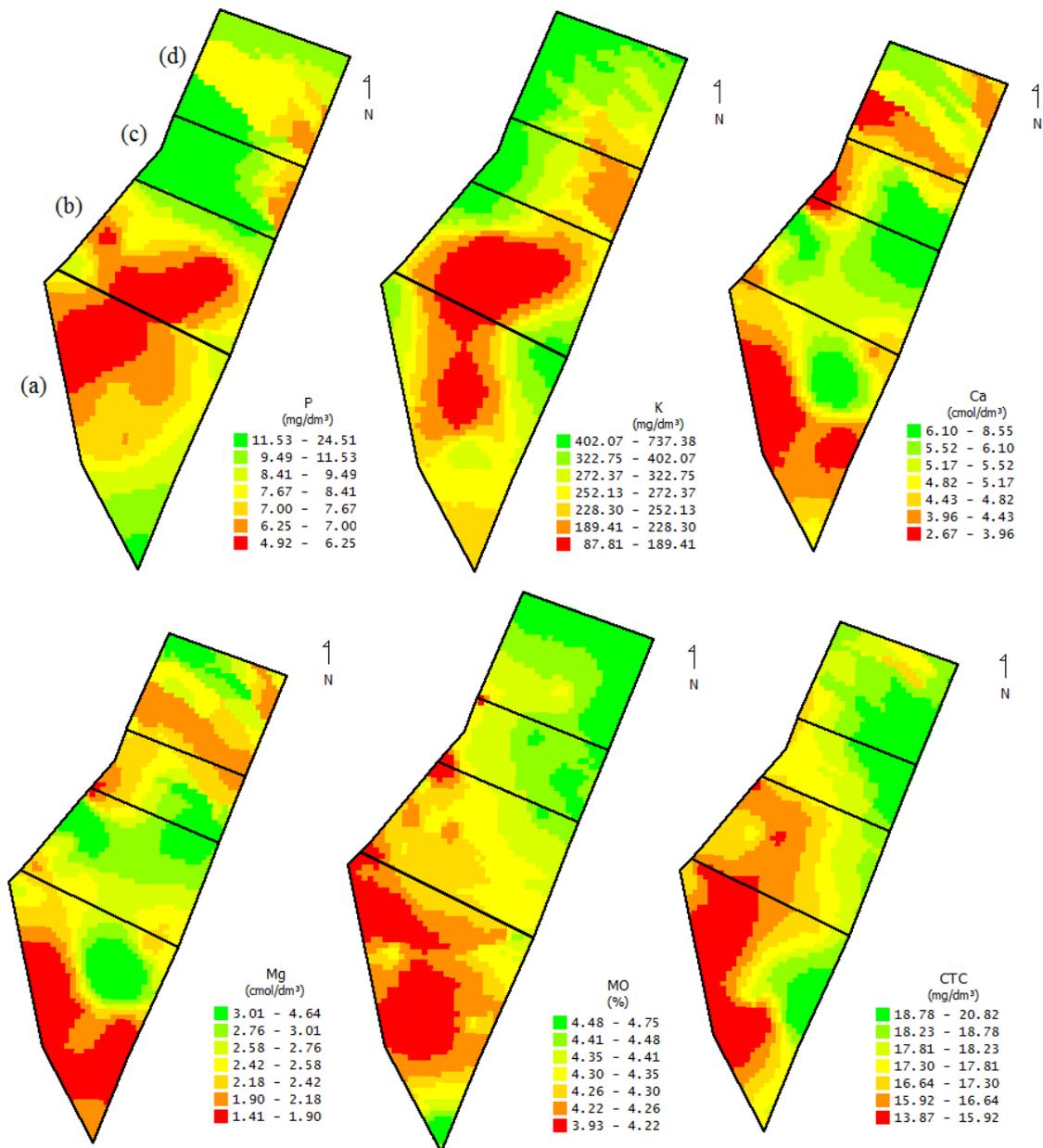


Figura 3 - Distribuição espacial horizontal dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica e $CTC_{pH\ 7,0}$ no solo. As letras indicam os tratamentos de altura do pasto: (a): 0,40 m; (b): 0,30 m; (c): 0,10 m; (d) 0,20 m.

Verifica-se para os atributos físicos de solo, que os valores mínimos de DS foram semelhantes para todos os tratamentos (Tabela 5) e a amplitude dos dados também foi semelhante, exceto para o tratamento de altura do pasto de 0,10 m, que apresentou valores 33% mais altos que os da altura de 0,40 m. A compactação do solo decorrente do pisoteio de animais, limita-se a camadas mais superficiais do solo, de 0-0,05 m de profundidade, e pode ser revertida após a cultura de grãos subsequente ao pastejo (CONTE et al., 2011; LANZANOVA et al., 2007; SPERA et al., 2009).

Para o DMP, os valores médios foram crescentes a medida que aumentou a altura de manejo do pasto, sendo o maior valor para o tratamento 0,40 m. O DMP médio foi incrementado em 16% na altura de 0,40 m em relação a de 0,10 m. Os valores mínimos e máximos também foram incrementados em valores 15 e 12%, respectivamente. O sistema plantio direto com ILP favoreceu o aumento nos índices de agregação do solo, na camada 0-0,10 m, em comparação ao sistema de plantio direto, sem pastagem (LOSS et al., 2011).

5.3.3 Produtividade da cultura da soja

A Figura 2 reporta a precipitação pluviométrica ocorrida para o ciclo da soja, nos três anos agrícola. Nota-se que na safra 2011/12 houve uma distribuição de precipitação muito irregular especialmente nos meses de novembro, dezembro e janeiro e posteriormente em março. Já na safra 2012/13 a distribuição foi mais uniforme e na safra 2013/14 novamente houve certa irregularidade especialmente no mês de janeiro e no final de março.

Na safra 2011/12 houve um estresse hídrico severo em todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 2a), justificando as baixas produtividades (Tabela 6). O déficit hídrico registrado nesta safra foi considerado o mais severo dos últimos 60 anos (CEMET - RS, 2012), causando perdas significativas as lavouras no RS, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas) (CONAB, 2012). A precipitação acumulada para todo o ciclo (359,5 mm) representou 31% da precipitação acumulada na safra posterior (1156 mm). Nas safras 2012/13 e 2013/14 as precipitações acumuladas foram superiores ao ano anterior, assim os valores de produtividade foram maiores (Tabela 6).

Para a produtividade da soja nas três safras avaliadas, não houve interação significativa entre as alturas de manejo do pasto e a presença de esterco. Por esta razão os efeitos das alturas de manejo do pasto e da presença de esterco foram analisados separadamente.

Houve diferença significativa de produtividade de soja nas diferentes alturas de manejo do pasto apenas para o ano agrícola 2012/13 ($P=0,011$) (Tabela 6), porém não houve diferença significativa de produtividade para a presença de esterco em nenhuma das safras (Tabela 7). O tratamento de altura do pasto de 0,10 m teve maior produtividade na safra 2012/13 do que o tratamento de 0,40 m, apresentando 0,24 Mg ha⁻¹ de diferença entre eles. Como reportado por Assmann (2013) a ciclagem dos nutrientes P e K no tratamento de altura do pasto 0,40 m ocorre prioritariamente via pastagem, que possui tempo de meia vida maior do que comparado ao tempo de meia vida do esterco bovino. Por outro lado, no tratamento de 0,10 m, que possuiu a maior produção total de MS de esterco, a intensidade da ciclagem de nutrientes (P e K) via esterco bovino é incrementada, ciclando mais rapidamente estes nutrientes.

A soja necessita de nutrientes fornecidos pelo solo, principalmente N, P e K. Dentre estes, o N e o K são os nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura (OSAKI et al., 1991), sendo que, do total de K que retorna ao solo pelas excretas dos animais (até 90% do ingerido), a maior parte (70–90%) prontamente disponível para absorção pelas plantas (HAYNES e WILLIAMS, 1993).

Para a safra 2011/12 a produtividade média de soja foi 72% abaixo da média do estado do RS (1,55 Mg ha⁻¹), enquanto que as safras seguintes foram 6,1% e 21,5% para as safras 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente (CONAB, 2014).

Tabela 6- Produtividade da soja em relação as alturas de manejo do pasto em integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Safra	Altura do pasto (m)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
2011/12	0,10	0,42 (±0,03) A
	0,20	0,47 (±0,02) A
	0,30	0,42 (±0,03) A
	0,40	0,41 (±0,02) A
2012/13	0,10	2,28 (±0,05) A
	0,20	2,14 (±0,05) AB
	0,30	2,09 (±0,05) AB
	0,40	2,04 (±0,05) B
2013/14	0,10	2,50 (±0,04) A
	0,20	2,50(±0,04) A
	0,30	2,36 (±0,04) A
	0,40	2, 41 (±0,04) A

Médias seguidas por diferentes letras na mesma coluna, diferem de acordo com o teste de Tukey ($P<0,05$);

Na tabela 7 verifica-se que não houve diferença na produtividade em relação a presença de esterco. Como a largura da plataforma da colhedora foi de 12,2 m de largura, provavelmente não foi possível detectar a micro variabilidade da produtividade da soja, como anteriormente verificado por da Silva et al. (2014), que avaliou a produtividade em parcelas pontualmente sobre os locais com concentração de esterco e encontrou até 5,73 Mg ha⁻¹.

Tabela 7- Produtividade da soja em relação a presença de placas de esterco na fase de pastagem na integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Presença de esterco	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
	2011/12
Com	0,41 (±0,02) A
Sem	0,45 (±0,02) A
	2012/13
Com	2,16 (±0,04) A
Sem	2,12 (±0,03) A
	2013/14
Com	2,46 (±0,03) A
Sem	2,44 (±0,02) A

Médias seguidas por diferentes letras na mesma coluna, diferem de acordo com o teste de Tukey ($P<0,05$);

Os componentes de rendimento de soja nos diferentes tratamentos investigados encontram-se na Tabela 8. Observou-se que entre o ano agrícola que ocorreu estiagem e nos anos de precipitação sem restrição hídrica houve aumento do número de grãos por legume, legumes por planta e o peso de 1000 grãos. No tratamento de altura do pasto de 0,10 m o número de legumes por planta foi 118% menor do que o tratamento 0,40 m no ano 2011/12. Na safra 2013/14 o tratamento 0,20 m apresentou maior peso de 1000 grãos, enquanto o 0,10 m apresentou o menor peso.

Santos et al. (2014) avaliou o efeito de níveis de disponibilidade hídrica sobre os componentes de produção e concluiu que o déficit hídrico nos estádios reprodutivos resulta em redução na produtividade de grãos, resultando em maior abortamento de vagens, conforme ocorreu na safra 2011/12 (Tabela 8). Estes mesmos autores afirmaram que os componentes de rendimento (legumes planta⁻¹ e peso de 100 grãos) apresentaram respostas diferentes entre as safras, justificado pela diferença na precipitação entre as mesmas, da mesma forma que nas safras avaliadas (2012/13 e 2013/14).

Tabela 8 - Componentes de rendimento de soja em função das alturas de manejo do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio-direto.

Safr	Altura do pasto (m)	Variáveis		
		Grãos legume ⁻¹	Legumes planta ⁻¹	Peso 1000 grãos (g)
2011/12	0,10	1,6 A	6,7 C	119,2 A
	0,20	1,8 A	9,0 BC	120,8 A
	0,30	1,8 A	10,7 B	110,8 A
	0,40	1,8 A	14,6 A	109,1 A
2012/13	0,10	2,1 A	31,4 A	138,2 A
	0,20	2,0 A	29,7 A	147,8 A
	0,30	2,0 A	32,9 A	152,0 A
	0,40	2,1 A	29,5 A	136,6 A
2013/14	0,10	2,2 A	30,2 A	168,5 C
	0,20	2,1 A	27,7 A	197,4 A
	0,30	2,3 A	24,1 A	183,7 B
	0,40	2,4 A	25,7 A	178,1 BC

Médias seguidas da mesma letra maiúscula por safra, na vertical não apresentam diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.3.4 Variabilidade espacial da produtividade da soja em ILP

Na estatística descritiva dos dados (Tabela 9) observa-se que os dados de produtividade de soja apresentaram coeficientes de variação (CV) considerados baixos (WILDING e DRESS, 1983), para todas as safras. Porém, ressalta-se que o CV diminuiu na safra que houve maior precipitação pluviométrica (2013/14), apresentando assim, maior potencial produtivo da cultura. Houve uma maior variabilidade dos dados no tratamento de 0,40 m (CV= 12,32), em ano de déficit hídrico (2011/12) em relação ao tratamento de 0,10 m, pois o tratamento 0,40 m apresentou picos de produtividade maiores, provavelmente pelo maior aporte de resíduo na superfície do solo sob sistema plantio direto e maior DMP neste tratamento. Esta variabilidade dos dados repetiu-se nos demais anos, porém em menor intensidade.

A menor produtividade para a cultura da soja foi na safra de 2011/12, com valores mínimos de 0,36 Mg ha⁻¹, em condições de déficit hídrico, e de 2,02 (2012/13) e 2,40 Mg ha⁻¹ (2013/14), em condições sem déficit hídrico (Tabela 9). Já, os valores médios de produtividade, dos dados interpolados, foram semelhantes aos dados de produtividades pontuais apresentados na Tabela 6. Porém, as diferenças encontradas entre os tratamentos de 0,10 e 0,40 m foram menores, sendo de 0,06 Mg ha⁻¹, 0,09 Mg ha⁻¹ e 0,03 Mg ha⁻¹ para as safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14, respectivamente. Os valores médios de produtividade entre os tratamentos de altura do pasto, nas diferentes safras, foram semelhantes, pois a maior ciclagem de nutrientes que

ocorre via esterco nos tratamentos com alta intensidade de pastejo e, a maior ciclagem que ocorre via pastagem nos tratamentos de baixa intensidade de pastejo, diminui a amplitude de produtividade entre os tratamentos.

Tabela 9 - Estatística descritiva das produtividades de soja para os diferentes tratamentos de altura do pasto em sistema de integração lavoura-pecuária.

Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾	Tratamento m	Produtividade		
		2011/12	2012/13	2013/14
n	0,10	96	96	96
n	0,20	153	153	153
n	0,30	179	179	179
n	0,40	257	257	257
Mínimo	0,10	0,40	1,92	2,33
Mínimo	0,20	0,40	1,86	2,21
Mínimo	0,30	0,36	1,79	2,05
Mínimo	0,40	0,39	1,79	2,19
Média	0,10	0,44	2,18	2,50
Média	0,20	0,46	2,02	2,45
Média	0,30	0,44	2,11	2,40
Média	0,40	0,50	2,08	2,47
Máximo	0,10	0,51	2,42	2,61
Máximo	0,20	0,52	2,23	2,64
Máximo	0,30	0,49	2,41	2,62
Máximo	0,40	0,66	2,47	2,65
Amplitude	0,10	0,11	0,49	0,28
Amplitude	0,20	0,12	0,37	0,43
Amplitude	0,30	0,13	0,63	0,57
Amplitude	0,40	0,28	0,68	0,47
Erro padrão (%)	0,10	0,002	0,01	0,01
Erro padrão (%)	0,20	0,002	0,01	0,01
Erro padrão (%)	0,30	0,002	0,01	0,01
Erro padrão (%)	0,40	0,004	0,01	0,01
CV (%)	0,10	5,42	5,59	2,50
CV (%)	0,20	5,34	3,70	3,79
CV (%)	0,30	5,79	6,04	5,13
CV (%)	0,40	12,32	6,29	4,40
SW ⁽²⁾	0,10	0,96**	0,94**	0,98 ^{ns}
SW	0,20	0,98*	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}
SW	0,30	0,98*	0,99 ^{ns}	0,97**
SW	0,40	0,94**	0,99**	0,94**

⁽¹⁾ n: número de observações (amostras); DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; ⁽²⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em nível de $p < 0,05$, (**) significativo em nível de $p < 0,01$ e (^{ns}) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto a amplitude dos valores de produtividade de soja, verifica-se na Tabela 9, que no tratamento de altura do pasto 0,40 m foi maior em relação ao tratamento de 0,10 m, para os três anos de avaliações, sendo 155%, 39% e 68% para as safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14, respectivamente.

Observando os mapas das safras 2012/13 e 2013/14 (Figura 4), verifica-se visualmente similaridade entre os anos, sendo possível detectar uma consolidação temporal das produtividades sem déficit hídrico. Na safra 2011/12, com déficit hídrico, houve maior variabilidade da produtividade, evidenciado pelos maiores CV deste ano. As áreas em vermelho, consideradas de baixa produtividade, nas safras sem déficit hídrico, representaram 0,23% (2012/13) e 1,53% (2013/14) da área total (6,08 ha). E no ano com déficit hídrico essa área aumentou para 21,2 % da área total do experimento.

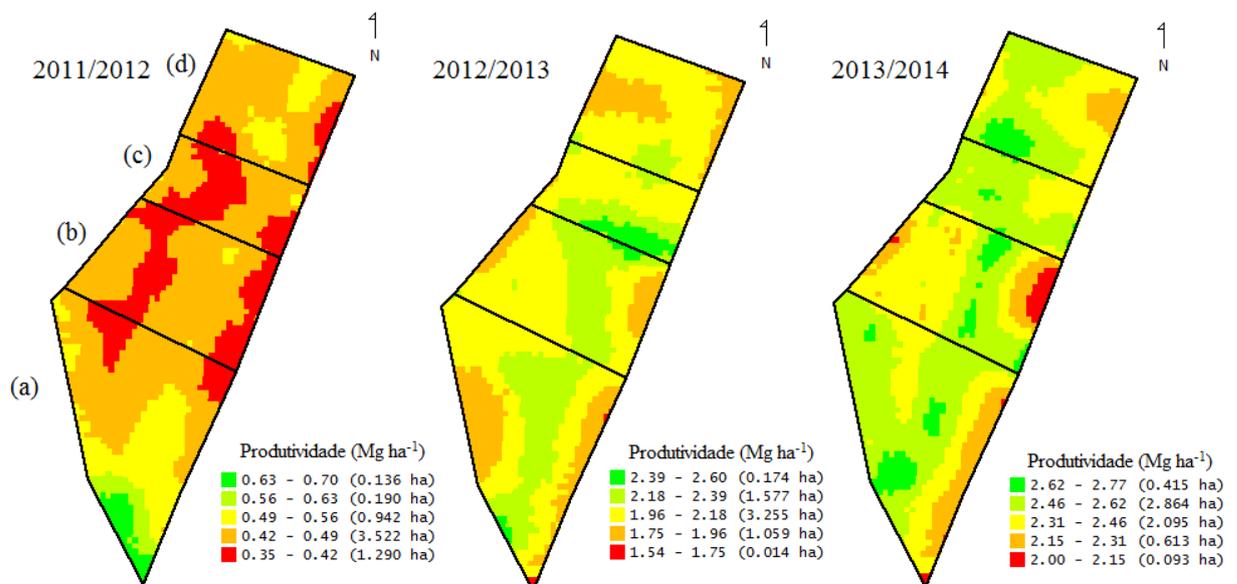


Figura 4 - Mapas de produtividade nas safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14 em área de integração lavoura-pecuária. As letras indicam os tratamento de altura do pasto: (a): 0,40 m; (b): 0,30 m; (c): 0,10 m; (d) 0,20 m.

5.4 Conclusões

A presença de placas de esterco afetou a ciclagem dos nutrientes P e K no solo em relação a locais sem esterco na pastagem. O tratamento de altura do pasto de 0,10 m apresentou o maior teor de P no solo em relação ao tratamento de 0,40 m.

O diâmetro médio ponderado dos agregados foi maior no tratamento de 0,40 m em relação ao tratamento de 0,10 m e a densidade do solo foi semelhante entre as alturas do pasto.

O tratamento de altura do pasto 0,10 m, que possuía uma distribuição mais homogênea de placas de esterco na área, apresentou maior variabilidade dos nutrientes P e K, e o tratamento de 0,40 m, que possuía o menor número de placas de esterco com distribuição concentrada em pontos atrativos, apresentou a menor variabilidade dos nutrientes.

Em anos com restrição hídrica severa todos os tratamentos de altura do pasto foram afetados, sendo a produtividade média reduzida em 80% em relação as safras 2012/13 e 2013/14 sem restrição hídrica. Os principais componentes afetados pelo estresse hídrico foram o número de legumes por planta e o peso de 1000 grãos (safra 2011/12).

No ano com restrição hídrica severa o tratamento de altura do pasto de 0,40 m, que proporcionou maior aporte de cobertura morta sobre o solo, apresentou a maior variabilidade de produtividade de soja.

5.5 Referências

AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 831-843, 2009.

ASSMANN, J. M. **Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração**, 2013. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

AUERSWALD, K.; MAYER, F.; SCHNYDER, H. Coupling of spatial and temporal pattern of cattle excreta patches on a low intensity pasture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p. 275-288, 2009.

BAGGIO, C. et al. Padrões de deslocamento e captura de forragem por novilhos em pastagem de azevém-anual e aveia-preta manejada sob diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, 215-222, 2009.

CANTARUTTI, R. B., NASCIMENTO JÚNIOR, D., COSTA, O. V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: **Produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p. 826-837.

CEMET-RS – CENTRO ESTADUAL DE METEOROLOGIA. A estiagem de 2011/2012 e sua influência na produção agropecuária do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.cemet.rs.gov.br/upload/20120606155033nota_tecnica_10_06_06_2012_final.pdf. Acesso em: 30 julho 2012.

CHERUBIN, M. R. et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

CHERUBIN, M. R. et al. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.44, p.425-432, 2014.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60 p. (Documentos, 46).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2011/2012: Décimo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_17_16_09_58_boletim_graos_-_julho_2012.pdf>. Acesso em 13 de fev. 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2013/2014: Décimo Segundo levantamento. Available at: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf> Acesso em 13 de fev. 2015.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.

DA SILVA, F. D. et al. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 84-91, 2014.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision Agriculture in England: Current Practice and Research-Based Advice to Farmers. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Org.). **Precision Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 661-673.

DOERGE, T. A. **Management zone concepts**. Site-Specific Management Guidelines. PP Institute. Series, Norcross, 1999.

DUBEUX Jr. et al. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: How are they linked? **Crop Science**, v. 54, p. 2341-2350, 2014.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 228, p. 113-129, 2000.

HAN, S. et al. Cell size selection for site-specific crop management. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26, 1994.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture system. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1131-1140, 2007.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com o rendimento de milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MONTEIRO, F. A., WERNER, J. C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p. 55-84, 1997.

NANNI, M. R. et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil** (Historical Archive), Dordrecht , v. 76, p. 319-337, 1984.

OSAKI, M., K. et al. Productivity of High Yielding Crops. II. Comparison of N, P, K, Ca and Mg accumulation and distribution among high-yielding crops. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 37, p. 445-454, 1991.

RUSSELE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 325-334, 2007.

SANTI, et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346-1352, 2012.

SANTOS, E. L. et al. Níveis de disponibilidade hídrica sobre componentes de produção e rendimento de cultivares de soja. **Global Science and Technology**, v. 07, n. 3, p. 1-11, 2014.

SHARIFF, A.R., BIONDINI, M.E., GRYGIEL, C.E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization. **Journal of Range Management**, London, v. 47, n. 6, p. 444-449, 1994.

SCHNYDER, H., LOCHER, F., AUERSWALD, K. Nutrient redistribution by grazing cattle drives patterns of topsoil N and P stocks in a low-input pasture ecosystem. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 183–195, 2010.

SILVA, F. D. **Distribuição espacial e temporal de placas de esterco e produtividade da soja em sistema de integração soja-bovinos de corte**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, F. D. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 60-69, 2014.

SILVA, M. C. C. **Correlação da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2013. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, E.D. et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p.1365-1374, 2010

SOUZA, Z. M. et al. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, p.261-268, 2014.

SPERA, S. T.; et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 129-136, 2009.

TEIXEIRA, V. I. et al. Herbage mass, herbage rejection, and chemical composition of signalgrass under different stocking rates and distances from dung pads. **Crop Science**, v.52, p. 422-430, 2012.

THIESSEN, A.H., ALTER, J.C. Climatological Data for July, 1911: District No. 10, Great Basin. **Monthly Weather Review**, pp. 1082-1089, 1911.

WILDING, L. P., DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Org.). **Pedogenesis and Soil Taxonomy - I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, p. 83-116, 1983.

WOLLENHAUPT, N.C.; WOLKOWSKI, R.P.; CLAYTON, M.K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**. Oxford, v. 7, p. 441-448, 1994.

WOODARD, K.R. et al. Leaching potential of phosphorus from cattle excreta patches in the Central Highlands of Florida. **Journal of Environmental Quality**, v. 42, p. 872–880, 2013.

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A altura do pasto de 20 cm por conciliar uma eficiente ciclagem de nutrientes, através de uma uniformidade na distribuição espacial de placas de esterco, melhor balanço entre o IMC x ganho de peso por área e o IMC x retorno econômico, além de um aporte de cobertura morta para o sistema plantio direto, favorecendo a manutenção da umidade do solo para a cultura da soja, deve ser o preconizado na ILP.

APÊNDICES

Apêndice A - Colheita da soja no ano agrícola 2011/12.



Apêndice B – Colheita da soja no ano agrícola 2012/13.



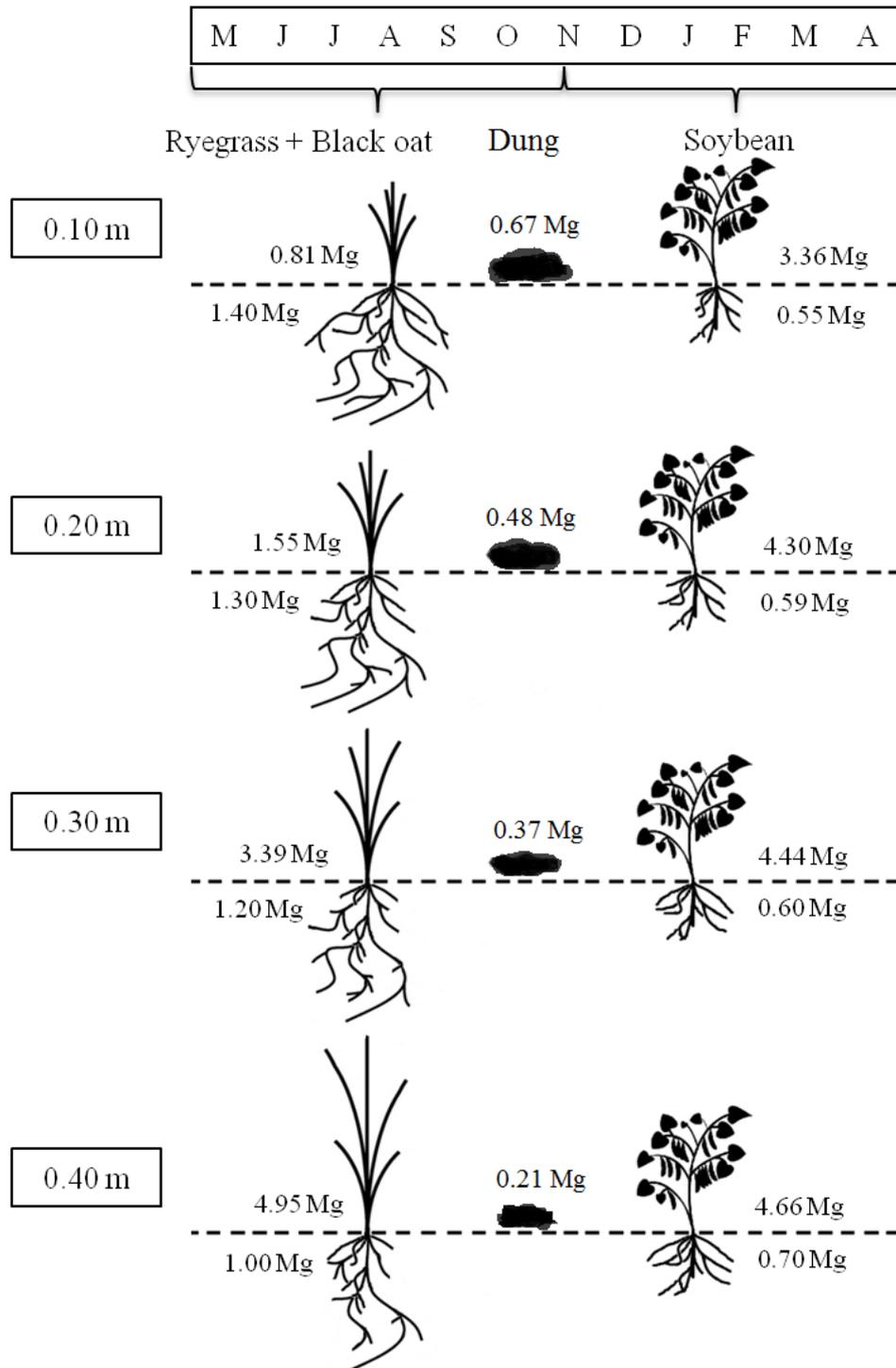
Apêndice C – Colheita da soja no ano agrícola 2013/14.



Apêndice D - Amostras de solo para determinações químicas.



Apêndice E – Relationship between residual dry matter (shoot and root; Mg ha⁻¹ yr⁻¹) in the different grazing intensities. Data from Carvalho et al. (2011) and Silva (2010).



Apêndice E - Soil carbon balance in different pasture management investigated by the carbon model proposed by Henin and Dupuis (1945) using the 0-0.20 m soil depth as reference.

Grazing intensities (m)	Biomass added [†]			C input	K ₁ x A [§] (Annual)	C Stock ^{§§}	K ₂ x C ^{‡‡} (Annual)	C balance dC/dt ^{§§§}
	AP ^{††}	Root	Total					
0.10 [*]	4.84	1.95	6.79	2.78	0.54	44.08	0.53	0.01
0.20	6.33	1.89	8.22	3.41	0.66	46.60	0.56	0.10
0.30	8.20	1.80	10.00	4.21	0.82	45.00	0.54	0.28
0.40	9.82	1.70	11.53	4.88	0.95	46.51	0.56	0.39

Means followed by the same letter, in the columns, do not differ by the Tukey's test ($p < 0.05$). [†] Biomass added over one year: Italian ryegrass intercropped with black oat + dung + soybean; ^{††} AP = aerial part; [§] K₁ x A = humidified carbon based on the coefficient (K₁ = 0.194) proposed by Campos (2006), where, A = carbon input; ^{§§} C stock; ^{‡‡} K₂ x C = C loss calculated based on the oxidation coefficient, K₂ = 0.012 proposed by Bayer (1996), where, C = C stock; ^{§§§} dC/dt = -K₂C^{‡‡} + K₁A[§]; ^{*} Sward height (m).