



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSISTEMAS

Cristiano Santos

**AGREGAÇÃO E ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE EM
SOLO CULTIVADO COM TIFTON-85 ADUBADO COM SUCESSIVAS
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS**

Florianópolis

2021

Cristiano Santos

**AGREGAÇÃO E ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE EM
SOLO CULTIVADO COM TIFTON-85 ADUBADO COM SUCESSIVAS
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (PGA) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Arcângelo Loss

Coorientadora: Profa. Dra. Marisa de Cássia Piccolo

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Cristiano

AGREGAÇÃO E ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE
EM SOLO CULTIVADO COM TIFTON-85 ADUBADO COM SUCESSIVAS
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS / Cristiano Santos ;
orientador, Arcângelo Loss, coorientador, Marisa de Cássia
Piccolo, 2021.

100 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Dejeito Líquido de Suínos. 3.
Carbono e Nitrogênio. 4. Tifton 85. 5. Índices de Agregação
do Solo. I. Loss, Arcângelo. II. Piccolo, Marisa de Cássia.
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Cristiano Santos

**“AGREGAÇÃO E ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE EM
SOLO CULTIVADO COM TIFTON-85 ADUBADO COM SUCESSIVAS
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS”**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Arcângelo Loss

Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Ciências Agrárias (UFSC/CCA)

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres

Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM)

Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi

Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Ciências Agrárias (UFSC/CCA)

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Arcângelo Loss

Orientador(a)

Florianópolis, 2021

RESUMO

O aumento da eficiência e do nível tecnológico da produção aumentou a produtividade da suinocultura brasileira, mas também gerou grande volume de dejetos animais que precisam ser adequadamente descartados. Uma das opções para o descarte de dejetos líquidos de suínos (DLS) é o seu uso na adubação de culturas agrícolas, assim como de pastagens. Considerando-se a presença de carbono (C), nitrogênio (N) e enxofre (S) nos DLS, a sua aplicação no solo pode aumentar os conteúdos desses elementos no solo, resultando em maior disponibilidade de nutrientes, melhor agregação de partículas e aumento de produtividade das culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do uso de DLS como fertilizante para solos com Tifton-85 pela comparação das modificações causadas pela aplicação sucessiva de diferentes doses do insumo na agregação e estoques de C, N, e S de um Latossolo na região Sul do Brasil. Os tratamentos consistiram de seis aplicações anuais de fertilizantes orgânicos e minerais com doses baseadas no conteúdo de N, usando DLS (100, 200, 300, e 400 kg ha⁻¹) e ureia (200 kg ha⁻¹), e um controle (sem aplicação de N). Amostras deformadas e indeformadas das camadas 0-5, 5-10, e 10-30 cm do solo foram coletadas em março de 2019. O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) e a densidade do solo foram avaliados em amostras indeformadas, as quais também foram usadas para determinar os conteúdos totais de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em macroagregados (8,0 > Ø ≥ 2,0 mm) e microagregados (Ø < 0,25 mm). Conteúdos e estoques de C, N e S foram avaliados em amostras deformadas. A produção de matéria seca do Tifton-85 também foi avaliada. As maiores doses de DLS reduziram a estabilidade dos agregados do solo, resultando em menor conteúdo de macroagregados e DMG, e maiores conteúdos de microagregados. A aplicação de DLS a solos argilosos (Latosolo Vermelho Distroférrico típico) sob pastagens de Tifton-85 ao longo de seis anos aumentou os conteúdos de C e N nos macro e microagregados e melhorou a agregação do solo quando usado nas doses de 100 ou 200 kg ha⁻¹ de N, principalmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Solos fertilizados com DLS apresentaram melhorias na agregação pelo aumento na massa de macroagregados e nos estoques de C (0-5 e 5-10 cm), N (5-10 e 10-30 cm), e S (0-30 cm), comparados com solos com fertilizante mineral. As doses mais altas de DLS resultaram em menores massa de macroagregados e DMG. Os estoques de C e S foram maiores em todas as camadas dos solos tratados com DLS nas doses de 200 a 400 kg ha⁻¹ N. Os estoques de N foram maiores nas camadas 5-10 cm e 10-30 cm quando o DLS foi aplicado na dose de 200 kg ha⁻¹ N. As doses de DLS (DLS100, DLS300 e DLS400) resultaram em estoques de C, N e S maiores ou iguais ao Controle e Mineral (ureia), na camada de 0-30 cm. Os conteúdos de C, N, e S orgânicos no solo aumentaram principalmente nas camadas 0-5 e 5-10 cm, os estoques de C aumentaram nas camadas superficiais e os estoques de S aumentaram nas camadas 5-10 e 10-30 cm, resultando em maiores produções de matéria seca. Para aumentar os estoques de C, N e S, na camada de 0-30 cm, assim como favorecer a agregação do solo, recomenda-se a aplicação das doses de DLS de 100 ou 200 kg ha⁻¹, uma vez que estas doses apresentaram valores de DMG e estoques de C, N e S iguais ou maiores que os tratamentos com fertilizante mineral e Controle, e produção similar de matéria seca. DLS pode substituir fertilizantes minerais nitrogenados, quando usados na dose adequada, com as vantagens de melhorar a agregação do solo e tornar lenta a liberação de N, sem perdas na produção de massa seca.

Palavras-chave: *Cynodon* spp., diâmetro médio geométrico, adubação orgânica, estoques de enxofre, dispersão de argila.

ABSTRACT

Increases in efficiency and technological level of production systems have increased pig production in Brazil, but also generated a large volume of animal waste that needs to be properly disposed. The use of pig slurry (PS) for the fertilization of agricultural soils with crops or pastures is one of the options for the disposal of this residue. Considering the presence of carbon (C), nitrogen (N) and sulfur (S) in the PS, its application to the soil can increase the C, N, and S contents, resulting in greater availability of nutrients, better aggregation of soil particles and increases in crop yields. The objective of this study was to evaluate the feasibility of using PS as a fertilizer for pasture soils with Tifton-85 by comparing changes caused by successive applications of different rates of PS on the aggregation and C, N, and S stocks of a Typic Hapludox in southern Brazil. The treatments consisted of six annual applications of organic and mineral fertilizers at rates based on N content, using PS (100, 200, 300, and 400 kg ha⁻¹) and urea (200 kg ha⁻¹), and a control (without N application). Disturbed and undisturbed soil samples from the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers were collected in March 2019. Aggregate geometric mean diameter (GMD) and soil density were evaluated using undisturbed soil samples, which were also used to determine total organic carbon (TOC) and nitrogen (TN) contents in macroaggregates (8.0 > Ø ≥ 2.0 mm) and microaggregates (Ø < 0.25 mm). Contents and stocks of C, N and S were evaluated in disturbed soil samples. The dry matter production of Tifton-85 was also evaluated. The application of PS to the soil under Tifton-85 pastures over six years increased C and N contents in macro and microaggregates and improved soil aggregation when used at rates of 100 or 200 kg ha⁻¹ of N, mainly in the 0-5 and 5-10 cm layers. Soils fertilized with PS showed improvements in aggregation due to the increase in microaggregate mass, and in C (0-5 and 5-10 cm), N (5-10 and 10-30 cm), and S (0-30 cm) stocks, when compared to soils with mineral fertilizer. The highest PS rates resulted in smaller mass of macroaggregate and GMD. Carbon and sulfur stocks were higher in all layers of soils treated with PS at rates of 200 to 400 kg ha⁻¹ N. N stocks were higher in the 5-10 cm and 10-30 cm layers when PS was applied at a rate of 200 kg ha⁻¹ N. The PS rates (PS100, PS300 and PS 400) resulted in C, N and S stocks greater than or equal to those of the Control and Mineral, in the 0-30 cm layer. The organic C, N, and S contents in soils increased when treated with PS, mainly in the 0-5 and 5-10 cm layers; carbon stocks increased in the surface layer and sulfur stocks in the 5-10 and 10-30 cm layers, resulting in higher dry matter productions. PS application at rates of 100 or 200 kg ha⁻¹ are recommended to increase soil C, N, and S stocks 0-30 cm layer and favor soil aggregation, since these rates resulted in values of DMG and C, N and S stocks equal to or greater than those of treatments with mineral fertilizer and Control, and similar dry matter production. PS can replace nitrogen mineral fertilizers, when used at the proper rate, with the advantages of improving soil aggregation and the slow release of N, without loss in dry mass production.

Keywords: *Cynodon* spp., geometric mean diameter, organic fertilization, sulfur stocks, clay dispersion.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figure 1.** Macro (A), meso (B), and microaggregate (C) contents in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil. PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using PS; PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application. Bars with the same letter within the same soil layer are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).....39
- Figure 2.** Geometric mean diameter in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil. PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using PS; PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; MIN200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application. Bars with the same letter within the same soil layer are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).....40

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Table 1. Historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths in Ibirubá, RS, Brazil.	34
Table 2. Chemical and physical attributes of the 0-10 and 10-20 cm layers of the soil (Typic Hapludox) of the experiment area. Ibirubá, RS, Brazil.	34
Table 3. Mean dry matter production (kg ha^{-1}) of Tifton 85 (<i>Cynodon</i> sp.) grown under pig slurry applications (PS) and mineral fertilizers in the 2017/2018 agricultural year. Ibirubá, RS, Brazil.	38
Table 4. Aggregate stability index (ASI), index of percentage of aggregates with diameter larger than 2 mm (AGRI), and GMD sensitivity index (SI_{GMD}) in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil.	42
Table 5. Nitrogen (N) and carbon (C) contents in macro and microaggregates of the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil.	43

ARTIGO 2

Table 6. Historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths in Ibirubá, RS, Brazil.	58
Table 7. Chemical and physical attributes of the 0-10 and 10-20 cm layers of the soil (Typic Hapludox) of the experiment area. Ibirubá, RS, Brazil.	58
Table 8. Mean dry matter production (kg ha^{-1}) of Tifton 85 (<i>Cynodon</i> sp.) grown under pig slurry applications (PS) and mineral fertilizers in the 2017/2018 agricultural year. Ibirubá, RS, Brazil.	61
Table 9. Soil bulk density, and carbon, nitrogen, and sulfur contents after application of organic (pig slurry; PS) and mineral (urea; Min200) fertilizers. Ibirubá, Rio Grande do Sul, Brazil.	63
Table 10. Soil carbon, nitrogen, and sulfur stocks after application of organic (pig slurry; PS) and mineral (urea; Min200) fertilizers. Ibirubá, Rio Grande do Sul, Brazil.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ΔpH = Delta pH (pH KCl - pH H₂O)

°C = Graus Celsius

ABIEC = Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

AGRI = índice de porcentagem de agregados >2 mm

Al = Alumínio

ANOVA = Análise de Variância

ASI = índice de estabilidade de agregados

C = Carbono

C:N = Razão entre carbono e nitrogênio

Ca = Cálcio

CENA = Centro de Energia Nuclear na Agricultura

cm = Centímetro

cm³ = Centímetro cúbico

COam = Carbono orgânico associado a minerais

COp = Carbono orgânico particulado

COT = Carbono orgânico total

CQFS-RS/SC = Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

Cu = Cobre

CV% = Coeficiente de variação

cv. = Cultivar

DLS = Dejeito líquido de suíno

dm³ = Decímetro cúbico

DMG = Diâmetro médio geométrico

DMP = Diâmetro médio ponderado

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares

g = grama

GMD = Geometric mean diameter

H+Al = Acidez potencial do solo

H₂O = Água

ha = Hectare

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFRS = Instituto Federal do Rio Grande do Sul

K = Potássio

K₂O = Óxido de potássio

kg = Quilo

LCN = Laboratório de Ciclagem de Nutrientes

m = metro

m² = metro quadrado

m³ = metro cúbico

Macro = Macroagregado

MAPA = Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mg = Megagrama

mg = miligrama

Micro = Microagregado

Min200 = Tratamento com fertilizante de solo mineral (ureia) na dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

mm = milímetro

MOS = Matéria orgânica do solo

N = Nitrogênio

N-NH₄⁺ = nitrogênio amoniacal

N-NO₃⁻ = nitrato

NPK = Fertilizante composto de nitrogênio, fósforo e potássio

NT = Nitrogênio total

NTS = No-tillage system

Ø = Diâmetro

OM = Orgânic matter

P = Fósforo

P₂O₅ = Pentóxido de fósforo

pH = potencial hidrogeniônico

PS = Pig slurry

PS100 = Tratamento com fertilizante de solo orgânico (dejeito líquido de suíno) na dose de

100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

PS200 = Tratamento com fertilizante de solo orgânico (dejeito líquido de suíno) na dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

PS300 = Tratamento com fertilizante de solo orgânico (dejeito líquido de suíno) na dose de 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

PS400 = Tratamento com fertilizante de solo orgânico (dejeito líquido de suíno) na dose de 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

R\$ = Real

RS = Estado do Rio Grande do Sul

S = Enxofre

SD = Soil bulk density

SI_{GMD} = índice de sensibilidade do DMG

SOC = Soil organic carbon

SOM = Soil organic matter

SP = Estado de São Paulo

SPC = Sistema de plantio convencional

SPD = Sistema de plantio direto

TN = Total nitrogen

TOC = Total organic carbon

Treat. = treatment

USDA = United States Department of Agriculture

USP = Universidade de São Paulo

WMD = Weighted mean diameter

Zn = Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Pecuária brasileira.....	15
2.2 Bovinocultura e pastagens	15
2.3 Suinocultura e dejetos.....	16
2.4 Adubação de pastagens.....	16
2.5 Adubação de solos com dejetos líquido de suínos e efeitos em cultivos	17
2.6 Entraves ambientais para o uso de dejetos líquido de suínos.....	20
2.7 Dejetos líquido de suínos e propriedades físicas do solo	21
2.7.1 Agregação do Solo	22
2.8 Dejetos líquido de suínos e matéria orgânica do solo (MOS).....	24
2.9 DLS e estoques de C N e S	26
3. OBJETIVOS	29
3.1 OBJETIVO GERAL	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
4. HIPÓTESES	30
5. ARTIGO 1: Aggregation index and carbon and nitrogen contents in aggregates of pasture soils under successive applications of pig slurry in southern Brazil	31
5.1. Introduction.....	32
5.2. Materials and Methods	34
5.2.1 Study area.....	34
5.2.2 Treatments and sampling	34
5.2.3 Dry matter production (DMP).....	35
5.2.4 Soil aggregation indexes	35
5.2.5 C and N in soil aggregates.....	36
5.2.6 Statistical analysis	37
5.3. Results and Discussion	38
5.3.1 Dry matter production (DMP).....	38
5.3.2 Aggregate classes and aggregation indexes	38
5.3.3 C and N in aggregates	43
5.4. Conclusion	46

5.5. References.....	47
6. ARTIGO 2: CHANGES IN CARBON, NITROGEN, AND SULFUR STOCKS AFTER SUCCESSIVE APPLICATIONS OF PIG SLURRY TO SOILS WITH TIFTON-85 IN SOUTHERN BRAZIL	54
6.1. INTRODUCTION	55
6.2. MATERIAL AND METHODS.....	58
6.2.1. Study area.....	58
6.2.2. Treatments and sampling	59
6.2.3. Soil bulk density.....	59
6.2.4. C, N, and S contents and stocks	59
6.3. RESULTS AND DISCUSSION.....	61
6.3.1. Dry matter production (DMP).....	61
6.3.2. Soil bulk density.....	61
6.3.3. C, N, and S contents.....	62
6.3.4. Soil C, N, and S stocks.....	65
6.4. CONCLUSION.....	69
6.5. REFERENCES	70
7. DISCUSSÃO GERAL.....	79
8. CONCLUSÃO.....	82
9. REFERÊNCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

A pecuária tem grande importância socioeconômica no Brasil, incluindo a suinocultura; porém, os sistemas de manejo adotados para a produção animal nem sempre apresentam a eficiência necessária para a sua sustentabilidade. O aumento da eficiência e nível tecnológico da produção aumentou a produtividade da pecuária brasileira, mas também gerou grande volume de dejetos animais que precisam ser adequadamente descartados. Uma das opções para o uso destes dejetos é a adubação de culturas agrícolas, assim como das pastagens (KONZEN, 2003; LOSS et al., 2019).

A geração de dejetos animais é inerente aos processos produtivos, sendo esses manejados principalmente na forma líquida e armazenados em esterqueiras anaeróbias. Na suinocultura, o manejo e uso adequado dos dejetos em sistemas agropecuários são importantes para reduzir o impacto sobre o ambiente e para o sucesso e manutenção da produção de suínos. O uso de dejetos líquido de suíno (DLS) na forma de adubação orgânica é uma das alternativas de insumo, a qual pode promover um descarte mais adequado para os DLS e melhorar atributos edáficos (SCHERER et al., 2010; LOSS et al., 2019; FERREIRA et al., 2021; FRANCISCO et al., 2021).

A adubação de pastagens é uma prática pouco utilizada em muitas regiões do Brasil pela sua tradição de criação animal extensiva aproveitando os recursos naturais. Porém, há muitas evidências dos benefícios da adubação de pastagens nos atributos do solo e rendimento de plantas, principalmente com a utilização de adubos orgânicos devido à adição de nutrientes, matéria orgânica e melhoria da estrutura do solo (SCHERER et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2016; LOSS et al., 2019).

Diferente de fertilizantes químicos, que podem ser formulados de acordo com a fertilidade inicial do solo, os DLS possuem variadas quantidades e disponibilidade de nutrientes. No entanto, considerando-se a presença de carbono (C) orgânico, a aplicação de DLS pode aumentar os conteúdos de carbono orgânico total (COT) no solo, resultando em melhorias na agregação do solo e, conseqüentemente, refletindo positivamente na aeração, infiltração de água, densidade e compactação do solo (MAFRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016).

Estudos sobre as alterações provocadas por aplicação de DLS nas propriedades do solo ainda são necessários para investigar efeitos de longo prazo, com destaque para solos com diferentes texturas, para fins de definições de doses, baseadas em sua composição, e os efeitos

nas diferentes culturas, incluindo pastagens. Nestas, os DLS podem ser eficientes como fontes de N tanto quanto a ureia (PARK et al., 2017), aumentando a produtividade, diminuindo custos (DE MOURA ZANINE e FERREIRA, 2015), apresentando efeito residual positivo para a liberação de N (ALBUQUERQUE et al., 2017), com consequente aumentos significativos na produção de matéria seca (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE E FERREIRA, 2015; BRUSTOLIN-GOLIN et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2017).

Porém, apesar de muitos estudos mostrarem incrementos lineares em produção de matéria seca com o aumento da dose de DLS, não há consenso quanto às bases para definição de doses a serem utilizadas e os parcelamentos de aplicação. Além disso, sua aplicação no solo pode aumentar os conteúdos de C, N e S no solo, resultando em maior disponibilidade de nutrientes, melhor agregação de partículas e aumento de produtividade das culturas; porém ainda são necessários estudos sobre o efeito do DLS na estabilidade dos agregados e os conteúdos de C e N nos agregados do solo e sobre os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PECUÁRIA BRASILEIRA

O valor bruto da produção pecuária brasileira em maio de 2019 foi maior que R\$ 200 bilhões; este resultado se deve principalmente aos números da bovinocultura, com mais de 210 milhões de cabeças e perspectiva de crescimento de 25,6% até 2029; e da suinocultura, com mais de 40 milhões de cabeças e perspectiva de crescimento de 28,2% até 2029 (MAPA, 2019a, MAPA, 2019b).

A pecuária brasileira tem grande importância socioeconômica pela geração de emprego e renda. Porém, o modelo de produção pecuária no Brasil prioriza tecnologias intensivas com significativos ganhos de produtividade (como na suinocultura), ou sistemas extensivos que somente se aproveitam de recursos naturais (como na bovinocultura). Assim, estes modelos podem melhorar em eficiência econômica e em seus indicadores para ampliar mercados exigentes quanto aos padrões socioambientais e boas práticas de produção no campo (DIAS et al., 2016).

2.2 BOVINOCULTURA E PASTAGENS

O Brasil possui 158,6 milhões de hectares de pastagens, consistindo de 46,8 milhões de hectares de pastagens naturais e 111,8 milhões de hectares de pastagens plantadas (100 milhões de hectares em boas condições e 11,8 milhões de hectares em condições de degradação) (IBGE, 2018). Grande parte da produção bovina no Brasil é dependente de pastagens; em 2019, a área total de pastagens para pecuária foi de 162 milhões de hectares, com taxa de ocupação de 1,32 cabeças por hectare e lotação de 0,93 unidade animal por hectare, e apenas 12,3% dos animais foram terminados em confinamento (ABIEC, 2019).

A produção pecuária à pasto, embora seja influenciada pelo manejo, depende fundamentalmente das condições de fertilidade do solo das pastagens; quanto maior a disponibilidade de nutrientes, maior a habilidade da planta forrageira para utilizá-los, e maior o potencial de taxa de lotação da pastagem. Práticas inadequadas de manejo do pastejo e a ausência de adubações periódicas são causas de degradação de grande parte dos pastos e baixa produtividade da atividade pecuária no Brasil (DIAS-FILHO, 2014).

2.3 SUINOCULTURA E DEJETOS

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de suínos, com maior produção na região Sul do país (MAPA, 2019a), porém, o aumento e concentração da produção desses animais gerou um desafio quanto ao destino correto dos dejetos resultantes para evitar a contaminação do solo, da água e da atmosfera. De acordo com Zucca et al. (2018), a quantidade de DLS produzido pela suinocultura no Sul do Brasil foi maior que 63.000 Mg em 2016.

Os sistemas intensivos de criação de suínos e sua integração com agroindústrias incrementaram a produção, o que proporcionou uma concentração na produção de animais e, conseqüentemente, de dejetos. O confinamento é o sistema mais utilizado na criação industrial de suínos no Brasil, e o manejo de dejetos (captação, tratamento, armazenamento, transporte e reuso) é um dos maiores problemas na produção, havendo a necessidade de um manejo adequado destes. Entre as alternativas para o reuso destes dejetos estão a produção de gás para geração de energia (ZUCCA et al., 2018), e principalmente, seu uso como forma de fornecimento de nutrientes para as culturas, pastagens ou plantas de cobertura (ANTONELLI et al., 2019; LOSS et al., 2019; RAYNE e AULA, 2020).

Atualmente, a principal forma de utilização de DLS é a adição ao solo como fertilizante de culturas e pastagens, tendo mostrado grande potencial para complementar ou substituir fertilizantes minerais em sistemas agrícolas, principalmente devido ao seu alto teor de N e P e quantidade de matéria orgânica (KONZEN e ALVARENGA, 2005; SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE e FERREIRA, 2015; LOSS et al., 2019; FERREIRA et al., 2021).

2.4 ADUBAÇÃO DE PASTAGENS

A manutenção da fertilidade do solo é determinante para a produção de biomassa e aumento do valor nutritivo do pasto; assim, a reposição de nutrientes do solo via adubação é essencial. Alternativas que diminuam a dependência de fontes de recursos não renováveis, especialmente na adubação de lavouras e pastagens, têm sido buscadas devido aos elevados preços dos adubos minerais advindos de fontes esgotáveis e geradoras de grandes impactos ambientais, e a necessidade de aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e diminuir os custos de produção (BALOTA et al., 2014). Adubos minerais possuem grande eficiência na disponibilidade de nutrientes para as plantas, mas possuem alto custo, dificultando sua

aquisição em quantidade e qualidade suficientes (DE MOURA ZANINE e FERREIRA, 2015; ALBUQUERQUE et al., 2017).

A adubação de pastagens não é uma prática rotineira da maioria dos pecuaristas brasileiros, os quais minimizam custos e otimizam os recursos disponíveis na propriedade com a utilização de resíduos produzidos pelos animais como fonte de adubo orgânico (ROCHA JUNIOR et al., 2016). De acordo com o IBGE (2018), poucos pecuaristas brasileiros fazem calagem (14,4%), adubação química e orgânica (10,7%), adubação química (20%), adubação orgânica (11,7%), e muitos (58%) não realizam nenhum tipo de adubação em pastagens.

A aplicação de resíduos orgânicos advindos da produção agropecuária, como palhadas de culturas vegetais, biofertilizantes e esterco (caprino, ovino, suíno, bovino e de aves), são alternativas para a reposição de nutrientes e manutenção da fertilidade dos solos cultivados em sistemas produtivos agropecuários no Brasil (DE MOURA ZANINE e FERREIRA, 2015; CASTRO et al., 2016; SILESHI et al., 2017; MACÊDO et al., 2018; LOSS et al., 2019; FRANCISCO et al., 2021).

A adubação orgânica apresenta concentrações de N, P e K nas formas orgânicas e inorgânicas, e sua utilização pode melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos, sem causar efeitos adversos ao solo, as plantas e ao meio ambiente quando utilizada de forma adequada, sendo uma alternativa para o destino correto para esses resíduos, a diminuição dos custos e a dependência de fertilizantes inorgânicos advindos de fontes não renováveis (MACÊDO et al., 2018; LOSS et al., 2019).

2.5 ADUBAÇÃO DE SOLOS COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E EFEITOS EM CULTIVOS

A aplicação de DLS ao solo pode causar alterações positivas nos atributos químicos (LOURENZI et al., 2016; BENEDET et al., 2020), físicos (COMIN et al., 2013; FRANCISCO et al., 2021) e biológicos (GIACOMINI et al., 2013; RAYNE e AULA, 2020) do solo, afetando a qualidade, sustentabilidade e fertilidade do solo e, conseqüentemente, o rendimento de culturas (LOSS et al., 2019; DU et al., 2020; GROSS e GLASER, 2021).

Os principais componentes do DLS são matéria orgânica e nutrientes, como N, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B); os conteúdos de macronutrientes de DLS apresentam grande variação, em média possuem 3% de N, 4% de P_2O_5 e 4% de K_2O (MIYAZAWA e BARBOSA, 2015).

A eficiência do DLS como fertilizante é equivalente à dos fertilizantes solúveis industrializados (CQFS-RS/SC, 2016), apresentando resultados semelhantes de produção quando comparada com a adubação química (NPK), como na cultura do milho em sistema plantio direto (MORAES et al., 2014; GIACOMINI e AITA, 2008).

O uso de DLS é uma das alternativas de adubação orgânica para o fornecimento de nutrientes ao solo, tendo efeitos diretos e indiretos na produção das culturas, com efeitos positivos comprovados em cultivos de soja e cana-de-açúcar (MENEZES et al., 2017a; MENEZES et al., 2017b), pastagens (CABRAL et al., 2011; PARIZOTTO et al., 2018) e mesmo para recuperação de áreas degradadas (CASTRO et al., 2017). Aplicações sucessivas de DLS podem levar a um rápido aumento em conteúdo de N-NO_3^- no solo, especialmente em solos degradados, aumentar o conteúdo de matéria orgânica, prover uma maior disponibilidade de N para as culturas, aumentar os conteúdos de K, Ca e Mg trocáveis no solo, elevar o pH, e induzir a complexação de Al^{3+} pela adsorção a grupos húmicos e funcionais de ácidos fúlvicos da matéria orgânica (LOURENZI et al., 2011; BRUNETTO et al., 2012).

Os diversos nutrientes contidos nos DLS, como N, P, K, Ca e Mg (CQFS-RS/SC, 2016), podem contribuir para a redução da aplicação de fertilizantes nas lavouras, incluindo macronutrientes em grandes culturas (KONZEN, 2003; CABRAL et al., 2011; GATIBONI e NICOLOSO, 2019).

Assim, o uso de DLS como fonte de nutrientes para sistemas agrícolas pode ser uma prática ambientalmente correta, desde que seguidos os critérios técnicos de recomendação para sua aplicação no solo (CORRÊA et al., 2011). A adubação de solos com DLS pode gerar diversos benefícios, porém, a variação física, química e biológica de sua composição devido a fatores de manejo da suinocultura gera a necessidade da caracterização de DLS e seus efeitos e definição da quantidade a ser aplicada. Estas informações ajudam a evitar alterações indesejáveis por contaminação do solo por elementos dispersantes de argila, tóxicos e patógenos (GIROTTTO et al., 2013; BARBOSA et al., 2015; VENGLOVSKY et al., 2018).

O uso de DLS pode adicionar grandes quantidades de nutrientes ao solo, elevando principalmente os conteúdos de P, Ca e Mg e reduzindo a saturação de Al em áreas sob pastagens (CERETTA et al., 2003). Drumond et al. (2006) estimaram que a produção de matéria seca de Tifton-85 (*Cynodon* sp.) apresentou um incremento de 119% com o uso de $378 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLS. Fey et al. (2010) avaliaram a aplicação de DLS não tratado, resultante de lagoa de estabilização por 120 dias e de biodigestor, e encontraram aumentos significativos na produção de matéria seca do milho com doses de 150 e $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do dejetos não tratado, e 150

m³ do dejetto pré-estabilizado. De Souza Gallo et al. (2015) observaram aumentos no desenvolvimento das plantas de feijoeiro no que diz respeito à altura e a massa seca da parte aérea, e produtividade de grãos com o uso de DLS na dose de 20 m³ ha⁻¹.

A aplicação de DLS na sucessão aveia-milho pode promover incrementos na produção de matéria seca e na produtividade de grãos, com resposta estatisticamente igual à adubação mineral recomendada para o milho (BISON PINTO et al., 2014). Este fertilizante orgânico pode ainda aumentar os valores de proteína bruta, e os conteúdos de N, P, Ca e Mg nas plantas de *Brachiaria decumbens* (SILVA et al., 2015a), melhorar a composição bromatológica de forrageiras, e as propriedades físicas e químicas e a atividade microbiana e enzimática do solo (SCHERER et al., 1996; MORALES et al. 2016; RAYNE e AULA, 2020).

A aplicação de 150 a 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS pode substituir satisfatoriamente a aplicação de adubação mineral em pastagem de *Brachiaria brizantha* (BARNABÉ et al., 2007; MEDEIROS et al., 2007). Incrementos na produtividade de matéria seca e matéria verde de pastagens com uso de DLS também foram encontrados por Assis (2007). O uso de dose de 80 m³ ha⁻¹ de DLS com incorporação imediata ao solo aumentou significativamente a produtividade de grãos de milho, quando cultivado em solo de textura argilosa (BISON PINTO et al., 2014).

Um experimento conduzido por Lourenzi et al. (2014) por oito anos em Santa Maria (RS), para avaliação do efeito da aplicação de DLS nas doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ na produção de matéria seca por plantas de cobertura (*Avena strigosa*, *Raphanus sativus*, *Pennisetum americanum*, *Vicia sativa*, e *Crotalaria juncea*) e produtividade de culturas de milho e feijão e encontraram maiores produções com aplicações de 80 m³ ha⁻¹ de DLS antes de cada cultivo para matéria seca acumulada das plantas de cobertura e produção de grãos de milho, e de até a dose de 20 m³ ha⁻¹ de DLS para o feijão, evidenciando que a cultura deve ser considerada para a definição da dose de DLS.

Efeitos significativos sobre o rendimento de matéria seca e conteúdo de fibra em detergente neutro, matéria mineral, e matéria orgânica não foram encontrados por Mondardo et al. (2011) em plantas de aveia preta, porém eles encontraram aumento linear da relação folha/colmo, e conteúdo de proteína bruta, N, P, K, Ca e Zn. De acordo com Medeiros et al. (2007), a aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS fermentado e *in natura* no início do período chuvoso gerou maior produção de biomassa e melhor qualidade para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, quando comparado a adubação química, ou resultados similares, confirmando a possibilidade de substituição de forma satisfatória da adubação química.

O uso de 4 Mg ha⁻¹ de composto de DLS e maravalha pode manter os atributos químicos do solo semelhantes aos do tratamento NPK e os conteúdos de P nas camadas superficiais dentro do limite crítico ambiental para solos com altos conteúdos de argila (Lourenzi et al., 2016). Porém, avaliando 19 aplicações de DLS com doses de até 80 m³ ha⁻¹ em solos sob plantio direto com sucessões de diferentes culturas em um período de 8 anos, Lourenzi et al. (2013) encontraram migração de N, P e K para até 60 cm de profundidade, e os conteúdos de N, P e K na camada 50 a 60 cm demonstraram a transferência de P e K para as camadas ainda mais profundas, o que ocasiona consequências ambientais e econômicas indesejáveis para o uso de DLS e reforça a necessidade de racionalidade na sua utilização, com doses menores e combinação com fertilizantes minerais.

2.6 ENTRAVES AMBIENTAIS PARA O USO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS

A suinocultura traz desenvolvimento econômico, mas causa problemas ambientais graves devido aos resíduos sólidos gerados, que em geral não são tratados adequadamente (ZAMBIASI et al., 2018), ou aplicados sem controle de doses (CABRAL et al., 2011; SILVA et al., 2015b). O grande acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo (0-5 cm) em áreas adubadas com DLS indica maior potencial de poluição ambiental por escoamento superficial do que as áreas com adubação mineral (SCHERER et al., 2010).

O N do DLS tem efeito imediato no crescimento das plantas, porém o escoamento superficial e a lixiviação podem contaminar mananciais de água com nitrato; o K se encontra no DLS totalmente na forma mineral, solúvel e, por isso, seu efeito residual é muito curto, mas plantas com alta taxa de absorção de K diminuem suas perdas no solo; e aproximadamente dois terços do P está em forma não solúvel em água, fazendo parte de estruturas orgânicas, gerando efeito residual do DLS (CERETTA et al., 2003).

Apesar de aplicações de DLS por 8 anos promover o incremento da disponibilidade de nutrientes, especialmente P, ele aumenta o conteúdo de nutrientes que podem ser potencialmente tóxicos às plantas, especialmente Cu e Zn (LOURENZI et al., 2014). Aplicações sucessivas de DLS, muitas vezes fornecem nutrientes acima das necessidades das culturas, podendo promover acúmulos excessivos de nutrientes, como N, P, Cu e Zn, no solo, potencializar a transferência desses elementos por escoamento superficial e percolação, e contaminar mananciais de águas superficiais e subsuperficiais (GIROTTI et al., 2013). Portanto, a definição de doses e métodos de aplicação requer cuidados. Aplicações de longo

prazo de DLS no solo podem favorecer o acúmulo de N e P mineralizáveis nos solos, assim, produtores precisam ajustar as taxas de aplicação a cada ano, uma vez que adubos orgânicos que contêm uma grande proporção de N orgânico têm menos N mineral disponível, devido à liberação lenta de N orgânico (GRAHAM et al., 2010).

O nitrogênio é um dos nutrientes em maior concentração em DLS, com aproximadamente 50% em forma amoniacal (N-NH_4^+ e N-NH_3^-), assim, o processo de nitrificação pode ocorrer por bactérias nitrificantes que oxidam N amoniacal para nitrato (N-NO_3^-), que pode ser lixiviado (AITA et al., 2006) e possivelmente causar eutrofização de águas. Aplicações sucessivas de DLS na superfície do solo sem incorporação, como ocorre em sistema de plantio direto (SPD), podem resultar em perdas significativas de N amoniacal por volatilização de amônia e emissão de N_2O para a atmosfera através da desnitrificação (NDEGWA et al., 2008; ZAMAN et al., 2009). A incorporação de DLS no solo é uma das alternativas para diminuir as perdas de N por volatilização (BISON PINTO et al., 2014; GONZATTO et al., 2017; AITA et al., 2018).

Quanto ao C, estudos têm enfatizado que a aplicação de DLS pode aumentar a emissão de C para atmosfera na forma de CH_4 (GIACOMINI e AITA, 2008) e apresentado propostas de tratamento e aplicação de DLS para mitigar emissão de C (BRASIL, 2016; INOUE et al., 2016), principalmente nas fases de coleta e armazenagem, pelo controle de temperatura e manejo de sólidos (HANSEN et al., 2006; HAEUSSERMANN et al., 2006) e materiais de cobertura (LOYON et al., 2016).

Além disso, a elevada concentração de P na camada mais superficial de solos adubados com DLS indica que estes elementos podem comprometer a qualidade do ambiente, especialmente como contaminantes da água (CERETTA et al., 2003). Este P acumulado em camadas superficiais pode ser levado em formas solúveis pelo escoamento superficial ou adsorvido em partículas para corpos d'água próximos à área cultivada, aumentando o risco de eutrofização (CERETTA et al., 2010; WANG et al., 2013; SCHMITT et al., 2014). Neste contexto, Scherer et al. (2010) observaram movimentação de P até as camadas de 40-50 e 70-80 cm do solo, indicando grande potencial de lixiviação do elemento em Neossolo e Cambissolo e acúmulo de Cu e Zn até 10 cm em Latossolo e até 20 cm em Cambissolo e Neossolo.

2.7 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Diversas pesquisas têm demonstrado a eficácia de DLS em melhorar as propriedades

físicas do solo (COMIN et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016; LOSS et al., 2017, 2019; FRANCISCO et al., 2021). O principal efeito esperado da aplicação de DLS em áreas agrícolas seria o incremento no conteúdo de matéria orgânica, o que se refletiria sobre a agregação, a densidade e a porosidade do solo (VEIGA et al., 2012). Porém, diferentes efeitos do uso de DLS são encontrados na literatura em relação a propriedades físicas do solo (MELO et al., 2019; FERREIRA et al., 2021).

A aplicação de DLS na superfície do solo pode aumentar os conteúdos de COT (BRUNETTO et al., 2012; COMIN et al., 2013; MAFRA et al., 2014; HE et al., 2015) e TN (GIACOMINI e AITA, 2008; GIACOMINI et al., 2013; HE et al., 2015) e a agregação do solo (YAGÜE et al., 2012; COMIN et al., 2013; LOSS et al., 2017) em relação ao tratamento controle, ou pode não apresentar diferenças em relação a este (COMIN et al., 2013; FERREIRA et al., 2021; LOSS et al., 2021).

Atributos físicos do solo podem sofrer alterações pelas práticas de manejo e pela aplicação de DLS, especialmente a densidade do solo, o arranjo de partículas e o volume dos poros (COMIN et al., 2013; FERREIRA et al., 2021). Porém, a aplicação de DLS pode não alterar estas propriedades, mesmo quando aplicados por longos períodos, mas gerar benefícios como a diminuição da saturação do solo por alumínio e aumento da saturação por bases até 20 cm de profundidade (BRUNETTO et al., 2012; LOSS et al., 2019).

Tratamentos com adubação de DLS na sucessão de aveia preta e milho em SPD podem resultar em maior proporção de agregados biogênicos, e maiores valores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nestes agregados quando comparados ao controle; maiores conteúdos de COT e NT nos agregados biogênicos comparados aos agregados fisiogênicos; e aumento no COT e NT com a dose de 90 kg ha⁻¹ de DLS (LOSS et al., 2017). Estes resultados demonstram o potencial deste resíduo na melhoria de fatores físicos do solo que podem contribuir com o aumento do tamanho e estabilidade de agregados (LOSS et al., 2021).

2.7.1 Agregação do Solo

Os agregados são componentes básicos da estrutura do solo, importantes para a produtividade da planta, pois a estrutura agregada afeta a resistência mecânica ao surgimento e ao crescimento das raízes, a população microbiana, aeração, controle da erosão, infiltração de água, capacidade de retenção de água e densidade do solo (OADES, 1984; MURPHY, 2014).

A estabilidade de agregados é um importante indicador da susceptibilidade do solo aos

processos erosivos, pois está associada à estrutura porosa do solo e ao movimento de água por esses poros (BARTHÈS e ROOSE, 2002). Microagregados estáveis são importantes para o desenvolvimento de macroagregados estáveis, e os macroagregados fornecem um ambiente para a acumulação de polissacarídeos e materiais húmicos que estabilizam microagregados contidos dentro deles (MURPHY, 2014). Liu et al. (2014) avaliaram pastagens, áreas florestais e sistemas agrícolas e verificaram que o preparo convencional do solo ocasionou a quebra dos agregados, e acelerou a decomposição dos resíduos vegetais, afetando fortemente a quantidade de entrada de biomassa no solo.

Macroagregados muitas vezes contêm mais carbono orgânico que microagregados (PUGET et al., 1995; SIX et al., 2000; LOSS et al., 2011), sendo que o grau de decomposição aumenta com a diminuição do tamanho do agregado, considerando a diminuição da relação C:N à medida que o tamanho do agregado diminui (AOYAMA et al., 1999; GREGORICH et al., 2003). O tamanho do agregado é inversamente proporcional à quantidade de energia necessária para quebrá-los e o tempo de rotatividade aumenta com a diminuição do tamanho do agregado (STEWART et al., 2007). De acordo com Braida et al. (2011), a concentração de carbono orgânico é importante para a estabilidade dos complexos organominerais (proporcional à energia de ultrassom para dispersão das partículas).

A adição de dejetos animais pode aumentar o conteúdo de MOS, dependendo do clima, tipo de solo e características do dejetos e, conseqüentemente, influenciar nos processos de agregação (WHITBEARD, 1996; RAYNE e AULA, 2020). Bottinelli et al. (2017) avaliaram a aplicação de fertilizantes orgânicos em um Cambissolo Húmico sob diferentes manejos de solo na França e afirmaram que estes podem contribuir para o incremento da estabilidade dos agregados do solo.

O conteúdo de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados são maiores no uso com pastagem do que com lavoura e decrescem em profundidade, e o tempo de aplicação de DLS não altera alguns atributos físicos do solo, tendo menor efeito em solos arenosos (VEIGA et al., 2012). Rauber et al. (2012) avaliaram o efeito da aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos (DLS) em solos de textura argilosa e encontraram melhorias nas condições físicas ligadas à estrutura do solo, como densidade do solo e resistência à penetração, com alta estabilidade de agregados, importante para reduzir a erosão hídrica. Essas alterações favorecem principalmente a porosidade do solo, fazendo com que os pelos radiculares e micorrizas possam penetrar pelos agregados, contribuindo diretamente para o incremento de carbono particulado nestas estruturas, produzindo formas protegidas ou oclusas da MOS

(RASSE et al., 2005).

Porém, de acordo com Arruda et al. (2010), a aplicação de 50 e 100 m³ ha⁻¹ de DLS pode reduzir a estabilidade de agregados do solo, sem afetar outros atributos físicos do solo e o conteúdo de COT. Comin et al. (2013) não encontraram diferenças entre tratamentos com doses crescentes de DLS para COT, densidade de solo, macro e microporosidade, diâmetro de poros, agregação e resistência a penetração. Além disso, de acordo com Rauber et al. (2012), mesmo recebendo aplicação de fertilizantes orgânicos, sistemas agrícolas apresentaram menor conteúdo de carbono orgânico em relação ao solo sob mata nativa; e reduziram o grau de flocculação das argilas, gerando baixa macroporosidade em algumas áreas.

Após quatro anos de aplicação de até 240 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS, Agne et al. (2014) também não encontraram alterações no conteúdo de matéria orgânica e nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de pastagem perene de missioneira gigante (*Axonopus* sp.). Oliveira et al. (2014) encontraram pouco efeito de DLS sobre propriedades físicas do solo após 12 anos de aplicação sobre cultivos em plantio direto com rotação de culturas (aveia, ervilhaca, milho, soja e feijão); porém, encontraram aumentos de P na camada superficial e de K na camada subsuperficial do solo.

A aplicação de DLS pode favorecer o aumento de carbono orgânico particulado (COp). He et al. (2015) avaliaram a aplicação de DLS e NPK como fertilizantes de solo por 17 anos em sucessão de milho e trigo e encontraram maiores conteúdos de COp, COT e NT na camada de 0-20 cm com DLS comparado com o NPK e o controle sem fertilizante. Yagüe et al. (2012) compararam o efeito de fertilizante mineral e DLS na estabilidade de macroagregados e frações da matéria orgânica, e recomendaram o uso de DLS pelo efeito positivo em parâmetros de qualidade de solo, como estabilidade de agregados, matéria orgânica leve, COp e biomassa microbiana.

A aplicação contínua ou sucessiva de DLS como fertilizante em áreas agrícolas pode modificar os atributos químicos e a estabilidade dos agregados do solo (LUZ et al., 2015), bem como ocasionar alterações quantitativas e qualitativas nas frações da MOS (LOURENZI et al., 2014).

2.8 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A MOS é fundamental para vários processos biológicos, químicos e físicos do solo, determinantes do seu potencial produtivo (FERREIRA et al., 2012; MURPHY, 2014). As

diferentes frações da MOS apresentam diferentes características químicas e físicas; a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica; e a quantidade e qualidade da MOS adicionada pelos sistemas de manejo agrícolas podem alterar a labilidade da MOS (CARMO et al., 2012). O conteúdo de MOS é um importante indicador de qualidade ambiental, representado pelas suas frações físico-granulométricas, como o carbono orgânico particulado (COp) e carbono associado aos minerais (COam) (LOSS et al., 2009; GIUMBELLI et al., 2021).

Os principais responsáveis pela decomposição da MOS são os microrganismos do solo (fungos e bactérias), algas e microfauna, cuja biomassa microbiana está permanentemente em renovação, obtendo a energia da MOS, atuando assim como fonte e dreno (mineralização ou imobilização temporária) dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (FERREIRA et al., 2007).

O uso de DLS pode afetar a biota do solo em sistemas plantio direto ou cultivo mínimo, resultando em maior abundância de microrganismos (SILVA et al., 2014). De acordo com Souza et al. (2014), aplicações consecutivas de DLS em solo cultivado com café tendem a melhorar os atributos microbianos do solo, favorecendo incrementos na biomassa e na atividade microbiana. Morales et al. (2011) não encontraram efeito na atividade microbiana pela aplicação das doses de DLS no solo, provavelmente pelo ambiente favorável ao crescimento de microrganismos em SPD.

De acordo com Quadro et al. (2011), os conteúdos de C e N da biomassa microbiana do solo aumentam linearmente até as doses de 12 e 18 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em adição, o DLS aplicado anualmente em Latossolo Vermelho cultivado com a sucessão de milho e aveia preta em plantio direto pode aumentar o carbono orgânico do solo em doses de até 200 m³ ha⁻¹, aumentando as taxas de fixação de C em até 1,0 Mg ha⁻¹ por ano, de acordo com as doses de DLS (MAFRA et al., 2014).

A MOS é um indicador de qualidade do solo devido à sua interação com diversos componentes do solo e efeitos direto e indireto na retenção de água no solo, formação de agregados, densidade do solo, pH, capacidade tampão, capacidade de troca catiônica, mineralização, sorção de pesticidas e outros agroquímicos, infiltração de água, aeração e atividade microbiana (ROSCOE et al., 2006; ABBRUZZINI, 2011). No entanto, a dinâmica da MOS pode ser modificada pelo manejo, por meio da seleção de culturas, pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influenciam nos processos biológicos de decomposição e mineralização (LEITE et al., 2003; BRANCALIÃO e MORAIS, 2008)

Há diversos estudos avaliando variáveis e correlações entre os processos físicos e biológicos do solo envolvendo principalmente sua matéria orgânica, fração mineral, fauna, microrganismos, e raízes, considerando variáveis ambientais do solo envolvidos na formação e estabilidade de agregados do solo, que atuam como agentes cimentantes unindo as partículas do solo (SIX et al., 2004; SALTON et al., 2008; VICENTE et al., 2012).

Assim, a MOS constitui grande estoque de carbono e a biomassa microbiana tem relação direta com seus componentes físicos e químicos; o aporte de resíduos vegetais e reciclagem radicular, e as taxas de decomposição da MOS nos agroecossistemas afetam o estoque de C do solo (MAFRA et al., 2014).

2.9 DLS E ESTOQUES DE C, N E S

A adubação orgânica promove alterações nos estoques de C e N e na qualidade da MOS que, indiretamente, causam alterações de diferentes magnitudes nas propriedades físicas dos solos (SILVA et al., 2012; LOSS et al., 2019; FERREIRA et al., 2021; FRANCISCO et al., 2021). Fertilizantes orgânicos como DLS apresentam baixa relação C:N, e quando associados a materiais com alta relação C:N, podem, em conjunto, aumentar os estoques de COT, enquanto fertilizantes orgânicos com baixo conteúdo de matéria seca e carbono orgânico aumentam a atividade microbiana, a mineralização da MOS, podendo manter ou até reduzir os estoques de carbono no solo (ANDRADE, 2013; FERREIRA et al., 2021). Mafra et al. (2014) encontraram aumento dos conteúdos e estoques de C e N em solo argiloso adubado por longo período com doses de DLS de até 200 m³ ha⁻¹ e Mafra et al. (2015) encontraram aumentos para os conteúdos de COT na camada 0-10 cm a partir da dose de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS, e maiores estoques de C nas camadas superficiais.

Além do benefício como fonte de nutrientes, o uso de DLS no solo adiciona matéria orgânica, que pode melhorar o ambiente para o desenvolvimento da microbiota do solo, deste modo, mantendo os estoques de matéria orgânica do solo (MOS), minimizando os efeitos adversos da emissão de C e N para a atmosfera por volatilização pela maior retenção de C e N por microrganismos, biomassa vegetal e agregados do solo (QUADRO et al., 2011; SILVA et al., 2012; LOSS et al., 2019; FRANCISCO et al., 2021).

Loss et al. (2017) avaliaram solos com aplicação de DLS em SPD por 10 anos no Brasil e encontraram incremento nos conteúdos de C e N totais do solo, favorecendo a formação de agregados biogênicos. Entretanto, a adição de carbono solúvel, água e N mineral ao solo

pelo uso de DLS pode afetar de diferentes formas os processos de formação e estabilidade dos agregados e os estoques de C e N do solo (YAGÜE et al., 2012; LOSS et al., 2017). Sistemas de preparo convencional do solo (SPC) com revolvimento de camadas superficiais afetam os estoques de C e N do solo pela maior taxa de mineralização da MOS, enquanto o SPD, com o uso de plantas de coberturas e adubos orgânicos aumentam os estoques de C e N (LOSS et al., 2015; MUNIZ et al., 2015; CERRI et al., 2017). O SPC do solo com arados e grades aumenta a oxidação do C e a mineralização do N pela incorporação dos resíduos, pela quebra dos agregados e pelo aumento da aeração do solo, enquanto que o SPD e o cultivo mínimo apresentam maiores estoques de C e N (PEDRA et al., 2012).

As taxas de acúmulo e perda de COT são determinadas em parte pela quantidade e qualidade de matéria orgânica introduzida no sistema, e os estoques de C e N de um solo dependem da quantidade de resíduos animais ou vegetais aportados anualmente, da taxa de conversão desses resíduos em MOS e da taxa de mineralização da MOS (WEST e POST, 2002; DORTZBACH et al., 2013). Assim, sistemas de manejo e adubação do solo que possam manter ou aumentar o conteúdo de MOS são necessários.

A aplicação de DLS pode ter efeitos na dinâmica de N e S do solo em comparação a diferentes fontes e quantidades de adubação mineral. Grohskopf et al. (2015) observaram aumentos em N total (0-10 cm), principalmente nas frações orgânicas lábeis de N com aplicação anual de DLS, gerando maior aporte de N por plantas de milho e aveia. Santos (2017) avaliou os teores de nutrientes em um Latossolo Vermelho no bioma Cerrado, Brasil, fertilizado com PS e não encontraram diferenças nos estoques de N; atribuíram às taxas de PS aplicadas, aos altos teores de matéria orgânica e à lixiviação, uma vez que os estoques de N eram maiores nas camadas mais profundas; além disso, encontraram aumentos nos teores de enxofre na biomassa vegetal e atribuíram este resultado aos altos teores de N e matéria orgânica e argila no solo, que facilitam a absorção de sulfato; refletiu na produção de biomassa e no conteúdo de nutrientes das pastagens de Tifton-85.

O enxofre (S) é também um nutriente essencial para o crescimento de espécies forrageiras, o qual pode ser fornecido por aplicações de PS. A interação entre S e N tem sido estudada para espécies de gramíneas, como *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, mostrando que o equilíbrio entre esses nutrientes afeta sua absorção; a taxa de N aplicada determina a concentração de S nos tecidos radiculares e a deficiência de S afeta a absorção de N (BATISTA e MONTEIRO, 2006); e quanto maior a dose de N, maior o conteúdo de S nos tecidos foliares (MATTOS e MONTEIRO, 2003). Mikkelsen e Norton (2013) encontraram conteúdos de S nos

estrumes variando entre 0,3% e 1%, dependendo da espécie animal, dieta e manejo; entretanto, um período de mineralização pode ser necessário para converter compostos orgânicos contendo S em sulfato para absorção pela planta.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade do uso de dejetos líquidos de suínos como fertilizante de solos para pastagem de Tifton-85 pela comparação das modificações causadas pela aplicação sucessiva de diferentes doses de dejetos líquidos de suínos na agregação e estoques de C, N, e S de um Latossolo na região Sul do Brasil.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a estabilidade dos agregados do solo por meio de índices de agregação e distribuição dos agregados por classes de diâmetro.

Quantificar os conteúdos de carbono e nitrogênio no solo e nos macro e microagregados.

Determinar a produção de massa seca do Tifton-85.

Estimar os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre do solo.

4. HIPÓTESES

A adubação de pastagens com dejetos líquidos de suínos aumenta a estabilidade dos agregados e os conteúdos de C e N nos agregados do solo em comparação aos tratamentos controle (sem adubação) e adubação mineral.

A adubação de pastagens com dejetos líquidos de suínos aumenta os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre em comparação aos tratamentos sem adubação e com adubação mineral.

5. ARTIGO 1:

Aggregation index and carbon and nitrogen contents in aggregates of pasture soils under successive applications of pig slurry in southern Brazil

Cristiano Santos¹, Arcângelo Loss^{2*}, Marisa de Cássia Piccolo², Eduardo Giroto³, Marcos Paulo Ludwig³, Julia Decarli³, José Luiz Rodrigues Torres⁴, Gustavo Brunetto⁵

ABSTRACT

Pig slurry (PS) applications affect soil aggregation and carbon and nitrogen contents in aggregates. The objective of this study was to evaluate changes caused by successive applications of PS and mineral fertilizer on aggregation and carbon (C) and nitrogen (N) contents in aggregates of a clayey Typic Hapludox cultivated with Tifton-85 in southern Brazil. The treatments consisted of six annual applications of PS (100, 200, 300, and 400 kg ha⁻¹) and urea (200 kg ha⁻¹), and a control. Soil samples were collected in March 2019 and evaluated for aggregate stability, through the geometric mean diameter of aggregates (GMD), and GMD sensitivity index (SI_{GMD}), and mass of macro, meso, and microaggregates. Total organic carbon and nitrogen contents were determined in macroaggregates and microaggregates. Applications of PS to pasture soils increase dry matter production of Tifton-85 and can increase soil aggregation by increasing the mass of macroaggregates. The highest PS rates decreased aggregate stability, resulting in lower macroaggregate contents, GMD, and SI_{GMD}, and higher microaggregate contents. PS applications to pasture soils can increase C and N contents in macro and microaggregates, and improve soil aggregation when using the rates of 100 or 200 kg ha⁻¹ of N, mainly in subsurface layers.

Keywords: *Cynodon* sp.; soil aggregation, swine waste, mineral fertilizer.

¹ Federal University of Santa Catarina, Center of Agricultural Sciences, Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil; docris@gmail.com; arcangelo.loss@ufsc.br

² University of São Paulo, Center of Nuclear Energy in Agriculture, Piracicaba, São Paulo, Brazil.

³ Federal Institute of Education, Sciences, and Technology of Rio Grande do Sul, Ibirubá campus, Rio Grande do Sul, Brazil.

⁴ Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brazil.

⁵ Federal University of Santa Maria, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.

5.1. INTRODUCTION

Livestock is an important socioeconomic sector in Brazil due to its employment and income generation; the livestock market reached more than R\$ 200 billion in 2019, which includes bovine (210 million) and swine (40 million) animals (MAPA, 2019a, MAPA, 2019b). Most bovines in Brazil are dependent on pastures, which reached an area of 162 million hectares in 2019, with 1.32 animals per hectare (ABIEC, 2019). However, fertilizer applications and production management systems for pasture soil are often inefficient regarding sustainability.

Increases in technology and yield with intensive animal productions have generated high amounts of wastes, reaching $17.2 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1} \text{ animal}^{-1}$ (PALHARES, 2019), which need to be properly disposed or reused. Wastes from pig production are usually managed in liquid form, called pig slurry (PS) or liquid swine manure, which are stored in anaerobic ponds and mainly used as soil fertilizer for agricultural crops, including pastures (KONZEN, 2003; KONZEN and ALVARENGA, 2005; SCHEFFER-BASSO 2008; DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015; PARIZOTTO et al., 2018; LOSS et al., 2019) due to the high organic matter and macro and micronutrient contents (N, P, K, Ca, Mg, Mg, Fe, Zn, Cu, and B); however, the concentration of these nutrients presents high variation (MIYAZAWA and BARBOSA, 2015). PS is an alternative to commercial soluble chemical fertilizers to increase biomass production and quality, and reduce environmental impacts and production costs (BALOTA, 2014; ASSEFA and TADESSE, 2019) with similar results (MORAES et al., 2014; CQFS-RS/SC, 2016; LOSS et al., 2021).

PS applications can improve soil attributes (SCHERER et al., 2010; RAYNE and AULA, 2020), such as aggregation, aeration, water infiltration, and soil bulk density (MAFRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016). PS is also a source of N, presenting similar results to urea (PARK et al., 2017), with the advantage of reduce costs (DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015), provide a residual effect due to the gradual release of N (ALBUQUERQUE et al., 2017), and significantly increase biomass production (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015; BRUSTOLIN-GOLIN et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2017).

Changes in soil chemical (LOURENZI et al., 2016; BENEDET et al., 2020), physical (COMIN et al., 2013; LOSS et al., 2017; LOSS et al., 2021) and biological (GIACOMINI et al., 2013; NAVROSKI et al., 2021) attributes have been found with application of PS, with positive effects on soil quality, sustainability, and fertility, and crop yields (ANTONELI et al.,

2019; LOSS et al., 2019; RUANGCHARUS et al., 2021). These benefits are mainly due to increases in organic matter contents, which favors aggregation and availability of nutrients to plants. A meta-analysis study showed that manure application can increase crop yields (7.6%), soil pH (3.3%), water-stable aggregation (28.8%), soil organic carbon (17.7%), and total (15.5%) and available nitrogen (16.0%), and decreased soil bulk density (-3.9%) compared to mineral fertilizer (DU et al., 2020).

These soil characteristics have been used as indicators of soil quality, but the effect of PS applications still requires further studies regarding its effects on them. Bertagnoli et al. (2020) evaluate application of different PS rates and found increases in soil macroaggregate contents, and Ferreira et al. (2021) found increases in total organic carbon (TOC) (67%) and TN (126%) contents in soil aggregates using PS combined with mineral fertilizer, but no improvement in soil physical attributes, with decreasing soil aggregation indexes, geometric mean diameter of aggregates (GMD), and increases in mass of microaggregates in all treatments. Moreover, according to Barbosa et al. (2015), despite the use of animal manure as fertilizer can improve soil structure, positive and negative effects of this practice remain inconclusive, since manure application can increase soil dispersible clay contents, disaggregation, and susceptibility to erosion, and contaminate of surface waters. Brunetto et al. (2012) evaluated PS applications to supply N for eight years and found increases in TOC contents up to 30 cm depth. In addition, Loss et al. (2021) evaluated the use of animal manure for 11 years under no-tillage system and found that applications of PS increase soil TOC and TN contents, GMD and reduce mesoaggregates ($2.0 > \emptyset \geq 0.25$ mm) and microaggregates ($\emptyset < 0.25$ mm) in the soil surface layer when compared to the NPK and control treatments, and that animal manure promoted the dispersion of clays in the 5-10 and 10-20 cm layers, resulting in lower soil aggregation in depth.

Long-term studies evaluating C and N contents in aggregates of soils with application of PS and mineral fertilizer are incipient. Thus, considering the wide use and effects of mineral and organic soil fertilizers on the maintenance of soil quality and chemical and physical characteristics, the hypothesis raised is that long-term PS applications to pasture soils, using proper rates, increase soil aggregation and C and N contents in aggregates, when compared to mineral fertilizers. Therefore, the objective of this study was to evaluate changes caused by successive applications of PS and mineral fertilizer on aggregation and carbon (C) and nitrogen (N) contents in aggregates of a clayey Typic Hapludox cultivated with Tifton-85 in southern Brazil.

5.2. MATERIALS AND METHODS

5.2.1 Study area

The experiment was conducted at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul (IFRS), in Ibirubá, RS, Brazil (28°39'09"S, 53°06'20"W, and altitude of 421 m), in an area cultivated with Tifton-85 grass (*Cynodon* sp.) intended for hay production for approximately 10 years. The region presents a Cfa2, subtropical humid climate, according to the Köppen classification (BECK et al., 2018). The historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths of the region, according to the Brazilian National Institute of Meteorology (2020) is shown in Table 1.

Table 1. Historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths in Ibirubá, RS, Brazil.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean minimum temperature (°C)											
18.0	17.4	16.1	13.3	10.4	9.0	8.2	9.6	10.5	13.0	15.1	17.0
Mean maximum temperature (°C)											
30.1	28.9	28.4	25.8	21.5	19.5	19.0	21.2	22.1	25.3	28.1	30.0
Mean rainfall depth (mm)											
152.8	162.4	112.1	155.8	116.7	127.6	166.1	144.6	166.7	219.3	153.6	132.4

The soil of the area was classified as Typic Hapludox according to Soil Survey Staff (2014) and as Latossolo Vermelho Distroferrico tipico, according to Santos et al. (2018). Prior to the installation of the experiment, soil samples had been collected in the area in May 2012 and subjected to chemical and physical analysis, according to the methods described by Tedesco et al. (1995); the results are shown in Table 2.

Table 2. Chemical and physical attributes of the 0-10 and 10-20 cm layers of the soil (Typic Hapludox) of the experiment area. Ibirubá, RS, Brazil.

Layer (cm)	pH (H ₂ O)	pH (SMP)	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	SOC	Clay
					(cmol _c dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)		(%)	(%)
0-10	5.8	6.0	9.8	5.9	0.0	4.4	50.2	288.0	4.3	46
10-20	5.2	5.7	4.9	3.1	0.5	6.2	22.8	232.0	2.6	59

pH H₂O determined in a soil to water ratio of 1:1; H+Al determined based on the SMP index; SOC = soil organic carbon

5.2.2 Treatments and sampling

A randomized block experimental design was used, with four replications. The

experimental area was prepared in October, 2012, and the application of the treatments started in November 2012, using 4×5 m plots (20 m²). The treatments consisted of six annual applications of fertilizer containing N, using an organic source (pig slurry) at the rates of 0 (Control), 100 (PS100), 200 (PS200), 300 (PS300), and 400 (PS400) kg ha⁻¹, and a mineral source (urea) at the rate of 200 kg ha⁻¹ (Min200). The mineral treatment included phosphorus (P) and potassium (K) applications, using potassium chloride and triple superphosphate as sources; the rates used were based on soil analysis and the Tifton-85 biomass accumulation. The PS rates used were based on its N contents, which was estimated according to the methodology proposed by the Soil Chemistry and Fertility Committee (CQFS-RS/SC, 2016). The PS applied presented the following characteristics (average contents): 2.71% of dry matter, 30,1 g kg⁻¹ of C, 3.23 g kg⁻¹ of total N, C to N ratio of 9.32, and pH of 7.30.

The application of the treatments started in November 2012; the total annual amounts of PS and urea were divided into three equal applications, carried out after each one of the three first cuts of the grass, carried out for dry matter evaluation, in six agricultural years (2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, and 2017/2018). The grass cuttings were removed from the area before the applications.

Samples of the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of the soil of each plot were collected in March 2019; undisturbed samples were used to determine the soil bulk density, using a ring with known volume (Kopeck) of 50 cm³, and soil aggregation, according to the methods described by the Embrapa (1997) and Tedesco et al. (1995); disturbed samples were used for the chemical analysis.

5.2.3 Dry matter production (DMP)

The total amounts of dry matter produced by the Tifton-85 grass was evaluated using samples from three cuts carried out between December and April of the 2017/2018 agricultural year. The grass was cut at 5 cm height in an area of 0.5 m² in each plot, dried in a forced air-circulation oven at 65 °C until constant weight, and then weighed to determine the DMP of each plot; the results were expressed in Kg ha⁻¹.

5.2.4 Soil aggregation indexes

Soil aggregation analyses were carried out using undisturbed soil samples, which were

air dried, manually crushed, and passed through 8.0 and 4.0 mm-mesh sieves. A 25 g subsample of the aggregates retained in the 4.0 mm-mesh sieve was placed on a 2.0 mm-mesh sieve, which was the first of a set of sieves with decreasing mesh diameters (2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.106, and 0.053 mm, according to the method described by the Embrapa (1997). The aggregates on the 2.0 mm-mesh sieve were wetted and, after 5 minutes, the set of sieves was submerged in water for a vertical wet sieving for 15 minutes, using a Yoder device (YODER, 1936). The soil retained in each sieve was removed with water jets and placed in previously weighed aluminum containers, identified, and taken to a forced air-circulation oven at 60 °C until constant weight.

The dry soil retained in each sieve was used to calculate the dry weight of aggregate according to each diameter class, as described by Costa Junior et al. (2012): $8.0 > \emptyset \geq 2.0$ mm (macroaggregates), $2.0 > \emptyset \geq 0.25$ mm (mesoaggregates), and $\emptyset < 0.25$ mm (microaggregates). These data were used to calculate the geometric mean diameter (GMD), aggregate stability index (ASI), index of percentage of aggregates with diameter larger than 2 mm (AGRI), and GMD sensitivity index (SI_{GMD}), as used by Torres et al. (2015):

$$GMD = \exp \left\{ \frac{\sum [(\ln [xi]) * [pi]]}{\sum [pi]} \right\}$$

where $\ln[xi]$ is the natural logarithm of the mean diameter of aggregate classes; and pi is the weight (g) of aggregates retained in each sieve.

$$ASI = [(PA - wp_{<0.25}) / PA] \times 100$$

where PA is the weight of the sample; $wp_{<0.25}$ is the weight of aggregates <0.25 mm (g)

$$AGRI = w_{i>2} \times 100$$

where $w_{i>2}$ is the proportion of aggregates >2 mm.

$$IS = GMD_t / GMD_c$$

where GMD_t is the GMD of each treatment, and GMD_c is the GMD of the control in the respective soil layer.

5.2.5 C and N in soil aggregates

The total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents were determined in undisturbed soil samples of macroaggregates ($8.0 > \emptyset \geq 0.25$ mm) and microaggregates ($\emptyset < 0.25$ mm). The samples were ground in a mortar and a subsample of two grams was placed in Eppendorf containers and sent for analysis by the dry combustion method, using an autoanalyzer (LECO TruSpec CHNS), at 1000 °C, in the Nutrient Cycling Laboratory (LCN) of the of Center of Nuclear Energy in Agriculture (CENA) of the University of São Paulo (USP), in Piracicaba, SP, Brazil.

5.2.6 Statistical analysis

The results were subjected to normality (Lilliefors) and homogeneity (Cochran) tests. The results of the treatments were subjected to analysis of variance (ANOVA) by the F test and significant means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability using the Sisvar 5.6 program (Ferreira, 2019).

5.3. RESULTS AND DISCUSSION

5.3.1 Dry matter production (DMP)

The accumulated mean DMP of the Tifton-85 grass in the 2017/2018 agricultural year (Table 3) were higher for the treatments PS300, PS400, and Min200, and the treatment PS100 and PS200 showed higher DMP than the control. These results denote the efficiency of PS applications in increasing DMP of Tifton-85, with similar results to mineral fertilizers, as also found in other studies (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINI and FERREIRA, 2015; BRUSTOLIN-GOLIN et al., 2016; ALBUQUERQUE et al. 2017). However, despite these increases in DMP as the PS rates was increased, some other factors should be considered for achieving high DPM while maintaining the soil sustainability and protecting the environment, such as soil aggregation and nutrient accumulation.

Table 3. Mean dry matter production (kg ha⁻¹) of Tifton 85 (*Cynodon* sp.) grown under pig slurry applications (PS) and mineral fertilizers in the 2017/2018 agricultural year. Ibirubá, RS, Brazil.

Treatments	1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Accumulated
Control	1,654 b	1,897 b	2,020 d	5,571 d
PS100	1,889 b	2,167 b	3,066 c	7,122 c
PS200	2,198 b	3,004 a	3,895 c	9,097 b
PS300	2,690 a	3,058 a	5,674 a	11,422 a
PS400	2,911 a	3,475 a	6,430 a	12,816 a
MIN200	3,294 a	4,271 a	4,657 b	12,222 a

Means followed by the same uppercase letter in the columns comparing treatments are not different from each other by the Scott-Knot test ($p < 0.05$). PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using pig slurry (PS); PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; MIN200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application.

5.3.2 Aggregate classes and aggregation indexes

5.3.2.1 Mass of macro meso and microaggregates

The treatments with PS affected the soil macro, meso, and microaggregates in all soil layers (0-5, 5-10, and 10-30 cm). Significantly higher macroaggregate contents were found for the treatments PS100 and PS200 in the 0-5 cm layer when compared to the other treatments. In the 5-10 cm layer, only the control treatment differed from the others, presenting the lowest macroaggregate contents. In the 10-30 cm layer, PS200, PS300, and PS400 presented the higher macroaggregate contents than the treatments MIN200 and PS100; however, the Control

treatment presented the higher macroaggregate contents when compared to all treatments (Figure 1).

Mesoaggregate contents were lower than 0.5 g in the samples of all treatments in the 0-5 cm layer; the highest contents were found for the PS100 and Control treatments. The Control presented significantly higher contents in the 5-10 cm layer when compared to the other treatments. In the 10-30 cm layer, mesoaggregate contents decreased as the PS contents were increased, with PS400 presenting similar contents to the Control and lower than the MIN200.

Microaggregate contents were significantly higher for PS300 and PS400 in the 0-5 cm layer and for PS400 in the 5-10 cm layer. PS300 and PS400 presented higher contents than the other treatments in the 10-30 cm layer, except for the MIN200, which showed the highest contents in this layer.

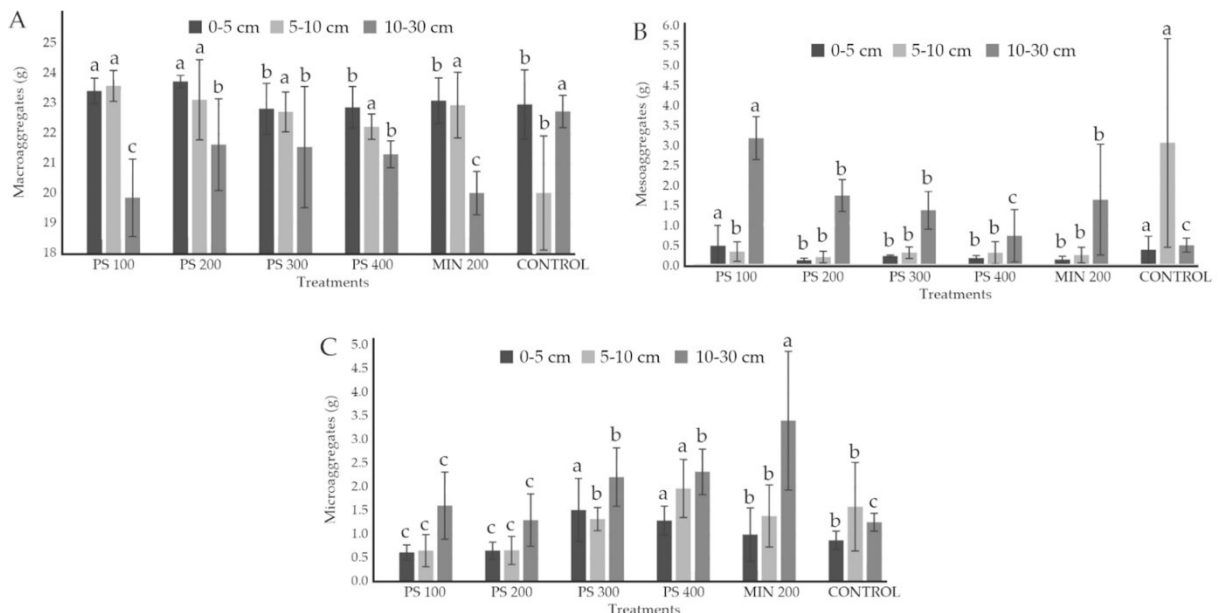


Figure 1. Macro (A), meso (B), and microaggregate (C) contents in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil. PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using PS; PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application. Bars with the same letter within the same soil layer are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

The results showed improvements for treatments with PS regarding soil aggregation by increasing macroaggregate contents. PS100 and PS200 presented, in general, higher macroaggregate and lower microaggregate contents than the MIN200 and Control treatments, denoting that these are the most efficient rates to improve aggregation of clayey soils. According to Loss et al. (2011), soil aggregation is a good indicator of soil physical quality, mainly the macroaggregate contents (>2 mm). The macroaggregate contents in the surface layer in all treatments were probably improved by the higher biomass contents in this layer.

Soil aggregation is highly affected by the root system quality, mainly of grasses, whose fasciculate root system promote aggregation by the release of exudates and entanglements within soil particles, increasing macroaggregate formation and stability (SALTON and TOMAZI, 2015). In addition, PS applications stimulate soil microbial activity and mycelium and glomalin production by mycorrhizal arbuscular fungi, which contribute to soil aggregation (LEIFHEIT et al., 2014, ŘEZÁČOVÁ et al., 2021).

5.3.2.2 Geometric mean diameter (GMD)

The GMD of the aggregates showed significant differences between treatments, with higher GMD for the surface layer in all treatments. The treatments PS100 and PS200 presented the highest GMD in the 0-5 and 5-10 layers. P200 presented the highest GMD in the 10-30 layer, but was similar the Control (Figure 2).

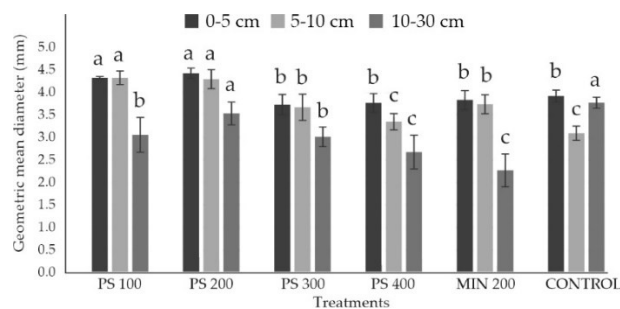


Figure 2. Geometric mean diameter in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil. PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using PS; PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; MIN200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application. Bars with the same letter within the same soil layer are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

GMD represents the estimated size of the most frequent aggregate class. Higher GMD was found for treatments with PS when compared to mineral fertilizer due to the higher amount of macroaggregates in these treatments; similar results were found by Ferreira et al. (2021) for a Typic Hapludult. These differences are also due to the C added by the PS, which assists in aggregate formation and stability, and the higher organic matter mineralization rate when applying high PS rates or mineral soluble fertilizer (FERREIRA et al., 2021). Similarly, Loss et al. (2021) evaluated a sandy loam soil subjected to 11 years of application of animal manure, including PS, and found lower meso and microaggregate contents and higher GMD in the soil surface layer when compared to mineral fertilizer (N-P-K) and control treatments. Bertagnoli et al. (2020) evaluated the effect of different PS rates on soil aggregation and found that soils that received the lowest PS rates (67% to 133%) improved the soil aggregation by reducing

aggregates < 0.25 mm up to 0.20 cm depth. However, Ferreira et al. (2021) evaluated PS (at a rate equivalent to PS100) applied alone or combined with mineral fertilizer and found increases in TOC and TN contents in a Typic Hapludult, but no improvements in soil physical attributes, with decreases in soil aggregation indexes, mainly in the 5-10 cm layer, due to decreases in GMD and increases in microaggregate contents in all treatments; they attributed these results to the negative values of ΔpH and increases in clay dispersion.

Although the treatments with the highest PS rates (PS300 and PS400) presented 105% to 130% higher DMP than the control (Table 3), they showed the highest microaggregate and low mesoaggregate contents. It reflected on the GMD, with PS300 and PS400 presenting lower GMD when compared to the lowest PS rates. This denotes that the use of high PS rates is hindering soil aggregation; thus, despite resulting in high DMP after 6 growing years, they may result in structural deficiencies over time. According to Barbosa et al. (2015), PS applications (33 and 66 m³ ha⁻¹) leads to rapid and dynamic changes in the dispersible clay content and aggregation processes, with increases dispersible clay contents and mass of aggregates <0.250 mm, and decreases soil flocculation and restructuring. In addition, Rauber et al. (2012) found decreases in flocculation degree in soils with PS applications under different management systems. Clay dispersion are caused mainly by increases in soil pH and sodium contents and decreases in Ca and Mg contents and microbial activity (SILVA et al., 2006), which are affected by PS applications.

5.3.2.3 Aggregation indexes

The treatment with 200 kg ha⁻¹ resulted in the highest ASI in all soil layers evaluated, representing relative increases of up to 4.2% when compared to the control. The ASI represents the total soil aggregation, disregarding the aggregate classes; thus, PS200 presented the best overall aggregation. The lowest indexes were found for PS300 (0-5 cm), PS400 (5-10 cm), and PS400 and MIN200 (10-30 cm), denoting that the high PS rates and the lack of improvements in organic matter by the addition of C MIN200 treatment are compromising soil aggregation.

Table 4. Aggregate stability index (ASI), index of percentage of aggregates with diameter larger than 2 mm (AGRI), and GMD sensitivity index (SI_{GMD}) in the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil.

Treatments	ASI			AGRI			SI_{GMD}		
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
PS100	96.16	97.33	94.03	90.02	95.75	79.28	1.10	1.40	0.81
PS200	97.58	96.12	94.66	96.96	94.61	88.48	1.13	1.39	0.94
PS300	93.79	93.78	92.57	88.59	92.73	87.64	0.95	1.19	0.80
PS400	94.28	91.92	89.25	93.43	90.96	84.50	0.96	1.08	0.71
Min200	95.20	95.16	87.75	94.69	93.90	78.97	0.98	1.21	0.60
Control	96.04	92.10	94.59	93.58	74.05	92.60	1.00	1.00	1.00

PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using PS; PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application.

PS200 presented the highest AGRI in the 0-5 cm layer, and the second highest in the 5-10 and 10-30 cm layer, and a mean AGRI 4% higher than PS300 and PS400. The AGRI represents the proportion of aggregates >2 mm; thus, it confirms the results found for macroaggregate contents, and GMD found for PS200.

PS100 and PS200 presented the highest SI in all soil layers. The SI estimates the intensity of changes in GMD caused by the different treatments. Thus, it showed that the effect on GMD caused by these treatments were 11% to 36% (0-5 cm), 13% to 22% (5-10 cm), and 1% to 15% (10-30 cm) higher than those caused by the other treatments.

The results found for the ASI, AGRI, and SI indexes (Table 4) were lower in the soil 10-30 cm layer, which was probably due to the more favorable conditions for soil aggregation in surface layers, partly promoted by the grass biomass cover, which protects the soil against degradation by weather variables, adds organic matter, and promote microbial activity (TORRES et al., 2015).

The results found for these indexes confirmed that PS100 and PS200 are the best treatments for improving aggregation. They presented, in general, higher indexes than the other treatments, which was consistent with the GMD and aggregate size distribution found, denoting a better soil structuring and aggregate stabilization. The higher SIGMG found for PS100 and PS200, when compared to the control treatment in the 0-10 cm layer (Table 4) are consistent with the higher DMP in these treatments (Table 2), resulting in higher quantities of macroaggregates (Figure 1) and higher DMG (Figure 2).

5.3.3 C and N in aggregates

Considering the differences between treatments, in the 0-5 cm and 10-30 cm layers, the treatments presented similar N contents in macro and microaggregates. In the 5-10 cm layer, the Control presented significant lower N contents in macro and microaggregates than the other treatments, and PS400 presented significant higher N contents in macroaggregates (Table 5).

Table 5. Nitrogen (N) and carbon (C) contents in macro and microaggregates of the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of a Typic Hapludox treated with different rates of pig slurry (PS) and mineral fertilizer. Ibirubá, RS, Brazil.

Treat.	Micro	Macro	CV%	Micro	Macro	CV%
	Nitrogen (g kg ⁻¹)			Carbon (g kg ⁻¹)		
0-5 cm						
PS100	1.85 Ab	2.28 Aa	10.17	21.52 Ab	27.93 Aa	9.34
PS200	1.89 Ab	2.55 Aa	21.10	22.78 Ab	24.12 Ba	7.13
PS300	1.66 Ab	2.28 Aa	11.65	19.09 Bb	27.17 Aa	5.57
PS400	2.09 Ab	2.88 Aa	19.98	23.61 Ab	29.23 Aa	13.34
Min200	2.02 Ab	2.64 Aa	17.68	19.02 Bb	25.45 Ba	13.73
Control	1.45 Ab	2.35 Aa	29.77	13.30 Cb	22.88 Ba	17.87
CV%	28.39	22.45		12.45	10.79	
5-10 cm						
PS100	1.67 Aa	1.72 Ba	10.86	17.57 Aa	18.97 Ba	8.59
PS200	1.27 Ab	1.75 Ba	11.60	14.82 Bb	19.85 Ba	6.47
PS300	1.27 Ab	1.75 Ba	11.18	13.53 Bb	18.82 Ba	6.53
PS400	1.52 Ab	2.32 Aa	31.71	14.02 Bb	21.32 Aa	8.89
Min200	1.39 Ab	1.74 Ba	13.73	14.26 Bb	18.33 Ba	12.37
Control	0.90 Bb	1.10 Ca	10.00	9.50 Cb	13.87 Ca	7.15
CV%	16.94	20.50		12.66	5.04	
10-30 cm						
PS100	1.05 Aa	1.17 Aa	9.33	11.22 Ab	14.78 Ba	7.39
PS200	0.87 Ab	1.37 Aa	5.76	9.54 Bb	16.68 Aa	6.77
PS300	1.12 Ab	1.55 Aa	14.40	9.82 Bb	15.90 Ba	3.63
PS400	0.93 Ab	1.25 Aa	12.99	9.52 Bb	15.39 Ba	9.40
Min200	0.98 Ab	1.25 Aa	13.75	9.45 Bb	15.22 Ba	6.35
Control	1.07 Ab	1.65 Aa	14.60	11.07 Ab	18.12 Aa	6.41
CV%	19.67	17.94		7.08	6.62	

Means followed by the same uppercase letter in the columns comparing treatments are not different from each other by the Scott-Knot test ($p < 0.05$). Means followed by the same lowercase letter in the rows comparing macro and microaggregates are not different from each other by the t Student teste ($p < 0.05$). PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using pig slurry (PS); PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application. Treat = treatment; CV% = coefficient of variation.

In the 0-5 cm layer, the highest C contents were found in the treatments PS100, PS200, and PS400 for micro and PS100, PS300, and PS400 for macroaggregates, with the Control presenting the lowest contents for both aggregate classes. In the 5-10 cm layer, the highest C contents were found in the PS100 for micro and PS400 for macroaggregates, with the Control

presenting the lowest contents for both aggregate classes. In the 10-30 cm layer, the highest C contents were found in the P100 and Control for micro and in the PS200 and Control for macroaggregates (Table 5). The C and N contents were, in general, lower in the 10-30 cm layer, which was probably because the PS was applied to the soil surface without incorporation.

Considering the differences in C and N between macro and microaggregates, significant differences were also found in all treatments and soil layers, except for N in the 5-10 cm layer. Higher C and N contents were found in macroaggregates. The C and N contents found for the treatments with PS were, in general, higher when compared to the Control and similar those in the Min200 treatment. Francisco et al. (2021) also found significantly higher C and N contents in soils treated with PS, when compared to the NPK and control treatments, and higher C and N in macroaggregates.

This result is connected to a better soil aggregation (macroaggregate contents and GMD), found mainly for PS200, which results in a physical protection against mineralization or occluded forms of the soil organic matter (OM) containing C and N (LOSS et al., 2011). Moreover, according to McCarthy et al. (2008), soils and treatments with increasing OM in microaggregates are associated with encapsulation of colloidal OM by minerals, thereby creating protected OM-filled pores at the submicron scale within the microaggregate structure, maintaining most of the stable OM (75%) in OM-filled pores. Thus, considering the theory of aggregate hierarchy (OADES, 1984), which states that microaggregates are first formed freely and then serve as building blocks for the formation of macroaggregates, and that these treatments tend to present higher aggregation due to the increases in OM, C and N contents tend to be higher in macroaggregates.

The results are also connected to the higher biomass production by the grass in these treatments, which adds C and N to the soil via rhizodeposition. In addition, the Control treatment presented the lowest dry biomass production (Table 3), which may have affected the addition of C and N, mainly to the 10-30 cm layer. Adeli et al. (2008) evaluated the effects of long-term PS applications on nutrient distribution in different soils and found increases in total soil C contents up to 60 cm depth, varying according to differences in the amount of plant residues and soil type.

The best results found for C and N contents are consistent with the best results found for soil aggregation; the lowest PS rates resulted in C and N higher than or equal to the contents found for the highest rates and, in general, better aggregation index. Increases in TOC and N contents due to PS applications were also found by Mafra et al. (2014), for a Typic Hapludox

soils under maize-oat rotation and no-tillage system, using rates of 50 to 200 m³ ha⁻¹; by Grohskopf et al. (2015) for soils with maize and oat crops, with positive results in N absorption by plants; and by Comin et al. (2013) for the surface layer of soils cultivated with black oats and maize for 8 years. However, Loss et al. (2017) evaluated PS applications in no-tillage system for 10 years at rate equivalent to 100% of the recommended N (90 kg ha⁻¹) and found no changes in TOC and TN contents.

The similar C and N contents in the treatments with PS were probably due to the low C to N ratio (C:N) of the PS, which increases the SOM decomposition (YAGÜE et al., 2012). However, successive PS applications increase soil N-NO₃⁻ and SOM contents, increasing N availability to crops, soil exchangeable K, Ca, and Mg contents, and pH, promote Al³⁺ complexation by adsorption to humic and fulvic acids of the SOM, and generate a slower SOM decomposition rate (LOURENZI et al., 2011; Brunetto et al., 2012). In addition, the lowest PS rates presented higher macroaggregate contents, which usually contain more organic carbon than microaggregates (PUGET et al., 1995; SIX et al., 2000), compensating the lower addition of C by the PS. Moreover, the SOM decomposition is higher and the C:N is lower in microaggregates (AOYAMA et al., 1999; GREGORICH et al., 2003).

Some studies have shown divergent results for the effect of PS application to the soil surface on C and N contents and soil aggregation (GIACOMINI and AITA, 2008; BRUNETTO et al., 2012; YAGÜE et al., 2012; COMIN et al., 2013; GIACOMINI et al., 2013; MAFRA et al., 2014; HE et al., 2015; LOSS et al., 2017), which were probably due to differences in PS rates, initial soil characteristic, tillage system, and evaluation time. Moreover, according to Benedet et al. (2020) long-term applications high PS rates can be a risk of contamination to soils and surface waters, mainly due to losses by runoff, and subsurface, by leaching. Basso et al. (2004) reported that the use of low PS rates (20 and 40 m³ ha⁻¹) minimizes N losses by volatilization; and N-NO₃⁻ leachate, despite little expressive when compared to the amounts added by PS applications, can surpass the concentration limits for groundwater quality Basso et al. (2005).

5.4. CONCLUSION

Applications of pig slurry (PS) to soils cultivated with Tifton-85 can increase soil aggregation, mainly by increasing the mass of macroaggregates.

The highest PS rates decreased aggregate stability, resulting in lower macroaggregate contents and geometric mean diameters, and higher microaggregate contents.

PS applications to pasture soils can increase C and N contents in macro and microaggregates, and improve soil aggregation when using rates of 100 or 200 kg ha⁻¹ of N, mainly in subsurface layers.

The use of successive applications of PS as a nitrogen fertilizer can substitute mineral fertilizer (urea) when using proper rates, with the advantage of improvements in soil aggregation and slower release of nitrogen, without losses in dry matter production.

5.5. REFERENCES

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef Report** - Perfil da Pecuária no Brasil. 2019. Disponível em <<http://www.abiec.com.br/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>.
- ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E.; MCLAUGHLIN, M.R.; BRINK, G.E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Sciences** 2008, 173, 223-235. doi.org/10.1097/ss.0b013e31816408ae
- ALBUQUERQUE, D. C. K.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; ZABOT, V.; MIRANDA, M. Residual effect of pig slurry on common carpet grass pasture. **Agriambi** 2017, 21(6), 374-378. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p374-378
- ANTONELI, V.; MOSELE, A. C.; BEDNARZ, J.A.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LOZANO-PARRA, J.; KEESSTRA, S.D.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of Applying Liquid Swine Manure on Soil Quality and Yield Production in Tropical Soybean Crops (Paraná, Brazil). **Sustainability** 2019, 11, 3898. doi.org/10.3390/su11143898
- AOYAMA, M; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A.; BISSONNETTE, N. Protected organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. **Canadian Journal of Soil Science** 1999, 79(3), 419-425.
- ASSEFA, S.; TADESSE, S. **The Principal Role of Organic Fertilizer on Soil Properties and Agricultural Productivity** - A Review. *Agricultural Research & Technology* 2019, 22(2). doi.org/10.19080/ARTOAJ.2019.22.556192
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment** 2014, 490, 397-404. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019
- BARBOSA, G.M.C.; OLIVEIRA, J.F.; MIYAZAWA, M.; RUIZ, D.B.; TAVARES FILHO, J. Aggregation and clay dispersion of an Oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil & Tillage Research** 2015, 146, 279-285. doi.org/10.1016/j.still.2014.09.022
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, O. S.; SILVEIRA M. J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural** 2004, 34, 1773-1778. doi.org/10.1590/S0103-84782004000600016
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejetos líquidos de suínos: II - perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural** 2005, 35 (6). doi.org/10.1590/S0103-84782005000600012

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, Scientific Data. **Nature** 2018, 5, 180214. doi.org/10.1038/sdata.2018.214

BENEDET, L.; FERREIRA, G. W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; LOVATO, P. E.; LOURENZI, C. R.; SILVA, H. G.; CURI, N.; COMIN, J. J. Use of Swine Manure in Agriculture in Southern Brazil: Fertility or Potential Contamination? **Journal of Soil Contamination** 2020, 1:1-27. doi.org/10.5772/intechopen.94525

BERTAGNOLI, B. G. P.; OLIVEIRA, J. F.; BARBOSA, G. M. C.; COLOZZI FILHO, A. Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. **Soil Tillage Research** 2020, 202, 104657. doi.org/10.1016/j.still.2020.104657.

BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; MORAES, M. P.; GATIBONI, L. C.; LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2012, 36, 1620-1628. doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026

BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A.V.; MIRANDA, M.; TRAVI, M. R. L.; ZABOT, V. Pig slurry in carpet grass pasture: Yield and plant-available nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 2016, 20(9). doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p795-799

COMIN, J. J.; Loss, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. DA R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilized with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research** 2013, 51, 459-470. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. de C.; SIQUEIRA NETO, M; CAMARGO, P. B. DE; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2012, 36(4), 1311-1322. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasil, 2016. 376 p.

DE MOURA ZANINE, A.; FERREIRA, D.J. Animal Manure as a Nitrogen Source to Grass. **American Journal of Plant Sciences** 2015, 6:899-910. doi.org/10.4236/ajps.2015.67098

DU, Y.; CUI, B.; WANG, Z.; SUN, J.; NIU, W. Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis. **Catena** 2020, 193, 104617. doi.org/10.1016/j.catena.2020.104617

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Brasil, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise de computador para efeitos fixos projetos de tipo de partida dividida. **Revista Brasileira de Biometria** 2019, 37(4), 529-535. doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450.

FERREIRA, G. W.; BENEDET, L.; TRAPP, T.; LIMA, A. P.; MULLER JUNIOR, V.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J. Soil aggregation indexes and chemical and physical attributes of aggregates in a Typic Hapludult fertilized with swine manure and mineral fertilizer. **International journal of recycling organic waste in agriculture** 2021, 10, 1-17. doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1896960.1051

FRANCISCO, C.A.L.; LOSS, A.; BRUNETTO, G.; GONZATTO, R.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PICCOLO, M. C.; MARQUEZAN, C.; SCOPEL, G. E.; VIDAL, R. F. Aggregation, carbon, nitrogen, and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soils under no-tillage system fertilized with injection and surface application of pig slurry for five years. **Carbon Management** 2021, 12, 257-268. doi.org/10.1080/17583004.2021.1920822

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2008, 32, 195-205. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100019

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; MIOLA, E. C. C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2013, 48(2), 211-219. doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200012

GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; STOKLAS, U.; St-Georges, P. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. **Geoderma** 2003, 113(3-4), 237-252. doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00363-4

GROHNSKOPF, M. A., CASSOL, P. C., CORREA, J. C., MAFRA, M. S. H., PANISSON, J. Organic nitrogen in a Typic Hapludox fertilized with pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2015, 39, 127-139. doi.org/10.1590/01000683rbc20150080

HE, Y. T.; ZHANG, W. J.; XU, M. G.; TONG, X. G.; SUN, F. X.; WANG, J. Z.; HUANG, S. M.; ZHU, P.; HE, X. H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. **Science of the Total Environment** 2015, 532, 635-644. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.011

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**, 1981 – 2010, Brasília. 2020. Available in <https://portal.inmet.gov.br/normais>

- KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e Utilização de Dejetos Animais: aspectos agronômicos e ambientais.** Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas, Brasil, 2005.
- KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves.** Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas, Brasil, 2003. 19 p. (Informe Técnico)
- LEIFHEIT, E. F., VERESOGLOU, S. D., LEHMANN, A., MORRIS, E. K., RILLIG, M. C. Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation—a meta-analysis. **Plant Soil** 2014, 374, 523–537. doi.org/10.1007/s11104-013-1899-2
- LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; SANTOS JUNIOR, E.; MERGEN JUNIOR, C. A.; BENEDET, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in biogenic and physico-genic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil and Tillage Research** 2017, 166, 52-58. doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BEUTLER, S. J.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida 2011, 14(2), 699-708.
- LOSS, A.; VENTURA, B. S.; MULLER JUNIOR, V.; GONZATTO, R.; BATTISTI, L. F. Z.; LINTEMANI, M. G.; ERTHAL, M. E. C.; VIDAL, R. F.; SCOPEL, G.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; MARQUEZAN, C.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and aggregation index in Ultisol with 11 years of application of animal manures and mineral fertilizer. **Journal of Soil and Water Conservation** 2021, 76(5). doi.org/10.2489/jswc.2021.00165
- LOSS, A.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G.; VEIGA, M.; TOSELLI, M.; BALDI, E. Animal Manure As Fertilizer: Changes In Soil Attributes, Productivity And Food Composition. **International Journal of Research - Granthaalayah** 2019, 7, 307-331. doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i9.2019.615
- LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2011, 35, 1827-1836. doi.org/10.1590/S0100-06832011000500037.
- LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2016, 51, 233-242. doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300005
- MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2014, 49(8), 630-638. doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800007

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agropecuária Brasileira em Números** - Maio de 2019. 2019a. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/agropecuaria-brasileira-em-numeros-maio-de-2019.pdf/view>>

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2018/2019 - 2028/2029**. 10 ed.; MAPA: Brasília, Brasil, 2019b. 126 p.

MCCARTHY, J. F.; ILAVSKY, J.; JASTROW, J. D.; MAYER, L. M.; PERFECT, E.; ZHUANG, J. Protection of organic carbon in soil microaggregates via restructuring of aggregate porosity and filling of pores with accumulating organic matter. **Cosmochim** 2008, 72, 4725–4744. doi.org/10.1016/j.gca.2008.06.015

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. C. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado**. IAPAR: Londrina, Brasil, 2015. (Boletim Técnico 84).

MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias** 2014, 35(6), 2945-2954. doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p2945

NAVROSKI, D.; FILHO, A. C.; BARBOSA, G. M. C.; MOREIRA, A. Soil attributes and microbial diversity on 28 years of continuous and interrupted for 12 months of pig slurry application. **Chilean Journal of Agricultural Research** 2021, 81, 27-38. doi.org/10.4067/S0718-58392021000100027.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil** 1984, 76(1-3), 319-337. doi.org/10.1007/BF02205590

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore** 2016, 2(2), 66-80.

PALHARES, J. C. P., ed. **Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos**. Embrapa: Brasília, Brasil, 2019.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M.; VEIGA, M. Dejetos líquidos de bovinos na produção de milho e pastagem anual de inverno em um Nitossolo Vermelho. **Agropecuária Catarinense** 2018, 31, 67-71. doi.org/10.22491/rac.2018.v31n1.9

PARK, S. H.; LEE, B. R.; CHO, W. M.; KIM, T. H. Comparative nitrogen use efficiency of urea and pig slurry for regrowth yield and nutritive value in perennial ryegrass sward. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences** 2017, 30, 514-522. doi.org/10.5713/ajas.16.0520

- PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science** 1995, 46(3), 449-459. doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01341.x
- RAUBER, L. P.; PICCOLLA, C. D.; ANDRADE, A. P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, A. L.; CORRÊA, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandiodox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2012, 36(4), 1323-1332. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026
- RAYNE N.; AULA, L. **Livestock manure and the impacts on soil health**: A review. *Soil Systems* 2020, 4, 1-26. doi.org/10.3390/soilsystems4040064
- ŘEZÁČOVÁ, V., CZAKÓ, A., STEHLÍK, M. Organic fertilization improves soil aggregation through increases in abundance of eubacteria and products of arbuscular mycorrhizal fungi. **Sci Rep** 2021, 11, 12548. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91653-x
- RUANGCHARUS, C.; KIM, S.U.; YOO, G.; CHOI, E.; KUMAR, S.; KANG, N.; HONG, C.O. Nitrous oxide emission and sweet potato yield in upland soil: Effects of different type and application rate of composted animal manures. **Environmental Pollution** 2021, 279, 116892. doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116892.
- SALTON AND TOMAZI. Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo. Embrapa Dourados. **Comunicado Técnico** 198, 2015.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed.; Embrapa: Brasília, Brasil, 2018.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; SCHERER, C. V.; ELLWANGER, M. F. Resposta de pastagens perenes à adubação com chorume suíno: pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia** 2008, 37(2), 221-227. doi.org/10.1590/S1516-35982008000200007
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2010, 34, 1375-1383. doi.org/10.1590/S0100-06832010000400034
- SILVA, A. J. N. CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 2006, 10, 1, 76-83. doi.org/10.1590/S1415-43662006000100012
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of American Journal** 2000, 64(2), 681-689. doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. United States Department of Agriculture: Washington, USA, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed.; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos: Porto Alegre, Brasil, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2015, 39, 428-437. doi.org/10.1590/01000683rbc20140597

YAGÜE, M. R.; BOSCH-SERRA, A. D.; ANTÚNEZ, M.; BOIXADERA, J. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: macroaggregate stability and organic matter fractions. **Science of the Total Environment** 2012, 438, 218-224. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.063

YODER, R. E. A. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agriculture** 1936, 28(5), 337-351. doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x

**6. ARTIGO 2:
CHANGES IN CARBON, NITROGEN, AND SULFUR STOCKS AFTER
SUCCESSIVE APPLICATIONS OF PIG SLURRY TO SOILS WITH TIFTON-85 IN
SOUTHERN BRAZIL**

Cristiano Santos¹, Arcângelo Loss¹, Marisa de Cássia Piccolo², Eduardo Giroto³, Marcos Paulo Ludwig³, Julia Decarli³, Gustavo Brunetto⁴

ABSTRACT

Pig slurry (PS) has been used as soil fertilizer due to its nutrient and organic carbon contents, which may improve soil nitrogen, carbon, and sulfur stocks. The objective of this work was to evaluate the viability of using PS as a fertilizer for soils cultivated with Tifton-85 by comparing the changes caused by successive applications of different rates of PS on the C, N, and S contents and stocks of a Typic Hapludox in southern Brazil. A 6-years (2012 to 2018) experiment was conducted in a randomized block design with four replications, in a hay producing area in southern Brazil. The treatments consisted of annual applications of organic and mineral fertilizers with rates based on the N contents, using PS (100, 200, 300, and 400 kg ha⁻¹) and urea (200 kg ha⁻¹), and a control, without N application. Soil samples of the 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers were collected in March 2019 and evaluated for soil bulk density and N, C, and S contents and stocks. Applications of pig slurry to clayey Typic Hapludox under Tifton-85 pastures over six years increase soil organic C, N, and S contents, mainly in the 0-5 and 5-10 cm layers; total carbon stocks in the surface layer; and total sulfur stocks in the 5-10 and 10-30 cm layer, which result in higher dry matter productions. The PS rate equivalent to 100 kg ha⁻¹ of N is recommended for increasing soil C, N, and S stocks, since it resulted in C, N, and S stocks equal to or higher than the Control and Min200 treatments.

Keywords: *Cynodon* spp., carbon accumulation, Sulfur accumulation, Swine manure.

¹ Federal University of Santa Catarina, Center of Agricultural Sciences, Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.

² University of São Paulo, Center of Nuclear Energy in Agriculture, Piracicaba, São Paulo, Brazil.

³ Federal Institute of Education, Sciences, and Technology of Rio Grande do Sul, Ibirubá campus, Rio Grande do Sul, Brazil.

⁴ Federal University of Santa Maria, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.

6.1. INTRODUCTION

Organic fertilizers have been used to improve Soil physical and chemical attributes, important indicators of soil quality and sustainability, and the yield in agricultural systems, including pastures. Pastures for animal grazing in Brazil cover large areas, reaching 162 million hectares in 2019, with a mean of 1.32 animals per hectare (ABIEC, 2019). Brazil has more than 210 million bovine and 40 million swine animals (MAPA, 2019a, MAPA, 2019b), due to increases in technology and yields of intensive animal productions. However, these animals generated high amounts of wastes, which need to be properly disposed or reused. Pig production in Brazil is concentrated in the South region of the country (MAPA, 2019a), where the total amount of pig waste reaches more than 63.000 Mg day⁻¹ (ZUCCA et al., 2018), and the mean PS resulted from pig production in the state of Santa Catarina is 47.1 L pig⁻¹ day⁻¹ (BRASIL, 2016).

Wastes from pig production are usually stored in anaerobic ponds and used as soil fertilizer for agricultural crops and pastures (KONZEN, 2003; KONZEN and ALVARENGA, 2005; SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015; LOSS et al., 2019) as an alternative, with similar results to commercial soluble chemical fertilizers (MORAES et al., 2014; CQFS-RS/SC, 2016). Studies have shown increases in biomass production and quality, lower environmental impacts and production costs, and improvements in soil physical, chemical, and biological attributes (GIACOMINI et al., 2013; BALOTA et al., 2014; LOSS et al., 2021; NAVROSKI et al., 2021).

The application of organic fertilizers, such as pig slurry (PS) using proper methods and rates, can improve soil attributes and plant yield in pastures under extensive systems by adding nutrients and organic matter and promoting soil aggregation (SCHERER et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2016; LOSS et al., 2019). In addition, markets have been demanding for socioenvironmental and farm production practices, which can be assessed by economic efficiency and quality indicators (DIAS et al., 2016). Soil physical characteristics and stocks of carbon and nutrients are indicators to increase yields, monitor soil quality, and avoid degradation, mainly in pasture areas (DIAS-FILHO, 2014).

Despite soil fertility is determinant for biomass production and for the nutritional value of pasture grasses, and application of fertilizer is essential to add nutrients to the soil, few farmers in Brazil use liming (14.4%), chemical and organic (10.7%), chemical (20%), or organic (11.7%) fertilizer applications, and many of them use no fertilizer on pastures (58%)

(IBGE, 2018). The application of plant or animal organic residues and biofertilizers are among the alternatives to lower the dependency on non-renewable resources, production costs, and environmental impacts and increase the sustainability of agricultural systems (BALOTA et al., 2014; DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015; CASTRO et al., 2016; SILESHI et al., 2017; MACÊDO et al., 2018; LOSS et al., 2019).

PS can be as efficient as urea for the supply of N to pasture areas (PARK et al., 2017), with the advantage of a slow release of N (ALBUQUERQUE et al., 2017), resulting in significant increases in biomass production (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE and FERREIRA, 2015; BRUSTOLIN-GOLIN et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2017). In addition, it can increase soil organic carbon contents (BRUNETTO et al., 2012; COMIN et al., 2013; MAFRA et al., 2014; HE et al., 2015; RODRIGUES et al., 2021), total nitrogen (GIACOMINI and AITA, 2008; GIACOMINI et al., 2013; HE et al., 2015; FRANCISCO et al., 2021; FERREIRA et al., 2021), improve soil aggregation (YAGÜE et al., 2012; COMIN et al., 2013; LOSS et al., 2017; LOSS et al., 2021), minimize adverse effects of C and N emission to the atmosphere by volatilization and nitrification, and improve C and N retention by microorganisms, plant biomass, and soil aggregates (QUADRO et al., 2011; SILVA et al., 2012; LOSS et al., 2019; RAYNE and AULA, 2020).

Maize and oat crop rotations under long-term application of PS were evaluated by Sacomori et al. (2021), who found increase in soil organic carbon in the soil 5-10 cm layer for PS rates of up to 100 m³ ha⁻¹, and by Mafra et al. (2015), who found increasing soil organic carbon contents and stocks as the PS rates and soil layers were increased. Santos (2017) evaluated nutrient contents in an Oxisol in the Cerrado biome, Brazil, fertilized with PS and found no differences in N stocks; they attributed it to the PS rates applied, high organic matter contents, and leaching, since the N stocks were higher in deeper layers; in addition, they found increases in sulfur contents in the plant biomass and attributed it to the high N and organic matter and clay contents in the soil, which facilitate sulphate absorption; it reflected in the biomass production and nutrient content of Tifton-85 pastures.

This effect indirectly increases soil organic matter and improve soil physical properties (SILVA et al., 2012; COMIN et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016; LOSS et al., 2017), which is shown by the soil aggregation, soil bulk density, and porosity (VEIGA et al., 2012). In addition, successive applications of PS can increase soil N-NO₃⁻ contents, mainly in degraded soils, and organic matter contents, promoting N availability to crops (LOURENZI et al., 2011; BRUNETTO et al., 2012).

Sulfur (S) is another essential nutrient for the growth of forage species that can be supplied by PS applications. The interaction between S and N has been studied for grass species, such as *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, showing that the balance between these nutrients affects their absorption; the N rate applied determines the S concentration in root tissues and the S deficiency affects N absorption (BATISTA and MONTEIRO, 2006); and the higher the N rate the higher the S contents in leaf tissues (MATTOS e MONTEIRO, 2003).

PS has been successfully used to add nutrients to soils and decrease Al saturation (CERETTA et al., 2003) in pasture areas (CABRAL et al., 2011) and for the recovery of degraded areas (CASTRO et al., 2017). Several studies have evaluated the effects of PS as a soil fertilizer to define criteria for application and rates, mainly for annual crops; however, despite many of them have shown increases in biomass and grain yield and in soil C and N contents as the PS rates is increased, there are no consensus regarding these criteria.

Moreover, the effects of PS application to soils are dependent on management factors of the pig production and application technology, which denotes the need for characterizing the PS components, rates, and effects to avoid undesirable change or soil contamination (GIROTTI et al., 2013; BARBOSA et al., 2015; VENGLOVSKY et al., 2018) Thus, long-term evaluations of effect of different rates of PS and sustainability of agroecosystems over time is necessary to assess whether it is as environmentally correct practice, based on technical criteria (CORRÊA et al., 2011).

In this context, considering the higher nutrient exportation by pasture grass species compared to annual grain crops and the importance of soil bulk density and C and N stocks for biomass production in pasture areas, the objective of this work was to evaluate the viability of using PS as a fertilizer for soils cultivated with Tifton-85 by comparing the changes caused by successive applications of different rates of PS on the C, N, and S contents and stocks of a Typic Hapludox in southern Brazil

6.2. MATERIAL AND METHODS

6.2.1. Study area

The experiment was conducted at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul (IFRS), in Ibirubá, RS, Brazil (28°39'09"S, 53°06'20"W, and altitude of 421 m), in an area that had been grown with a grass species (Tifton 85; *Cynodon* sp.) intended for hay production for approximately 10 years. The region presents a Cfa2, subtropical humid climate, according to the Köppen classification. The historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths of the region, according to the Brazilian National Institute of Meteorology (INMET, 2010) is shown in Table 6.

Table 6. Historical mean minimum and maximum temperature and rainfall depths in Ibirubá, RS, Brazil.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean minimum temperature (°C)											
18.0	17.4	16.1	13.3	10.4	9.0	8.2	9.6	10.5	13.0	15.1	17.0
Mean maximum temperature (°C)											
30.1	28.9	28.4	25.8	21.5	19.5	19.0	21.2	22.1	25.3	28.1	30.0
Mean rainfall depth (mm)											
152.8	162.4	112.1	155.8	116.7	127.6	166.1	144.6	166.7	219.3	153.6	132.4

The soil of the area was classified as Typic Hapludox according to Soil Survey Staff (2014) and as Latossolo Vermelho Distroferrico típico, according to Santos et al. (2018). Prior to the installation of the experiment, soil samples were collected in the area in May 2012 and subjected to chemical and physical analysis, according to the methods described by Tedesco et al. (1995); the results are shown in Table 7.

Table 7. Chemical and physical attributes of the 0-10 and 10-20 cm layers of the soil (Typic Hapludox) of the experiment area. Ibirubá, RS, Brazil.

Layer (cm)	pH (H ₂ O)	pH (SMP)	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	SOC	Clay
					(cmol _c dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)		(%)	(%)
0-10	5.8	6.0	9.8	5.9	0.0	4.4	50.2	288.0	4.3	46
10-20	5.2	5.7	4.9	3.1	0.5	6.2	22.8	232.0	2.6	59

pH H₂O determined in a soil to water ratio of 1:1; H+Al determined based on the SMP index; SOC = soil organic carbon

The experimental area was prepared in October, 2012, and the application of the treatments started in November, 2012, using 4 × 5 m plots (20 m²). A randomized block experimental design was used, with four replications.

6.2.2. Treatments and sampling

The treatments consisted of six annual applications of fertilizer containing N at the rates of 0, 100, 200, 300, and 400 kg ha⁻¹, using an organic source (pig slurry), and at the rate of 200 kg ha⁻¹, using a mineral source (urea); the applications started in November 2012. The PS rates used were based on its nitrogen contents, which was estimated according to the methodology proposed by the Soil Chemistry and Fertility Committee (CQFS-RS/SC, 2016).

The PS applied over the six years (2012 to 2018) presented the following characteristics (average contents): 2.71% of dry matter, 30,1 g kg⁻¹ of C, 3.23 g kg⁻¹ of total N, C to N ratio of 9.32, and pH of 7.30. The total annual amounts of PS and urea were divided into three equal applications, carried out after each one of the three first cuts of the grass. The grass was cut at 5 cm height with approximately 50-day intervals in the spring-winter period of each agricultural year-2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, and 2017/2018. The grass cuttings were removed from the area before the applications.

Samples of the soil 0-5, 5-10, and 10-30 cm layers of the soil of each plot were collected in March 2019 to evaluate soil density and C, N, and S contents and stocks.

6.2.3. Soil bulk density

Undisturbed were used to determine the soil bulk density, using a ring with known volume (Kopeck) of 50 cm³, and disturbed samples were used for the chemical analysis.

6.2.4. C, N, and S contents and stocks

Total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and sulfur contents were determined by the dry combustion method in an autoanalyzer (LECO TruSpec CHNS), at 1000 °C, in the Nutrient Cycling Laboratory (LCN) of the of Center of Nuclear Energy in Agriculture (CENA) of the University of São Paulo (USP), in Piracicaba, SP, Brazil.

C, N, and S stocks were calculated using the equivalent mass method (SISTI et al., 2004), according to the equation:

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

where: C_s is the total stock in Mg ha^{-1} ; $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ is the sum of C, N, or S contents from the first (surface) to the last layer of the soil profile in the evaluated treatment (Mg ha^{-1}); $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ is the sum of the soil mass from the first to the last layer of the soil profile in the evaluated treatment (Mg ha^{-1}); $\sum_{i=1}^n M_{Si}$ is the sum of the soil mass from the first to the last layer of the soil profile in the reference treatment (Mg ha^{-1}); M_{Tn} is the mass in the last layer of the soil profile in the evaluated treatment (Mg ha^{-1}); and C_{Tn} is the C, N, or S contents in the last layer of the soil profile in the evaluated treatment (Mg Mg^{-1}).

The reference treatments for each soil layer were those that presented the lowest soil bulk density and, consequently, the lowest equivalent masses, namely, PS300 for the layers 0-5 and 5-10 cm and PS200 for the layer 10-30 cm.

The results were subjected to normality (Lilliefors) and homogeneity (Cochran) tests. The results of the treatments were subjected to analysis of variance (ANOVA) by the F test and significant means were compared by the Scott-Knot test at 5% probability using the Sisvar 5.6 program (FERREIRA, 2019).

6.3. RESULTS AND DISCUSSION

6.3.1. Dry matter production (DMP)

The accumulated mean DMP of the Tifton-85 grass in the 2017/2018 agricultural year (Table 8) were higher for the treatments PS300, PS400, and Min200, and the treatment PS100 and PS200 showed higher DMP than the control. These results denote the efficiency of PS applications in increasing DMP of Tifton-85, with similar results to mineral fertilizers, as also found in other studies (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; DE MOURA ZANINE e FERREIRA 2015; BRUSTOLIN-GOLIN et al. 2016; ALBUQUERQUE et al., 2017). However, despite these increases in DMP as the PS rates was increased, some other factors should be considered for achieving high DPM while maintaining the soil sustainability and protecting the environment, such as soil aggregation and nutrient accumulation.

Table 8. Mean dry matter production (kg ha^{-1}) of Tifton 85 (*Cynodon* sp.) grown under pig slurry applications (PS) and mineral fertilizers in the 2017/2018 agricultural year. Ibirubá, RS, Brazil.

Treatments	1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Accumulated
Control	1,654 b	1,897 b	2,020 d	5,571 d
PS100	1,889 b	2,167 b	3,066 c	7,122 c
PS200	2,198 b	3,004 a	3,895 c	9,097 b
PS300	2,690 a	3,058 a	5,674 a	11,422 a
PS400	2,911 a	3,475 a	6,430 a	12,816 a
MIN200	3,294 a	4,271 a	4,657 b	12,222 a

Means followed by the same uppercase letter in the columns comparing treatments are not different from each other by the Scott-Knot test ($p < 0.05$). PS100 = 100 kg ha^{-1} of N using pig slurry (PS); PS200 = 200 kg ha^{-1} of N using PS; PS300 = 300 kg ha^{-1} of N using PS; PS400 = 400 kg ha^{-1} of N using PS; MIN200 = 200 kg ha^{-1} of N using urea; Control = no fertilizer application.

6.3.2. Soil bulk density

The soil bulk density (SD) was, in general, not significantly affected by the treatments; significant difference was found only in the soil 10-30 cm layer for the treatment PS200, which showed lower SD than the other treatments (Table 6). This is probably due to the grass fasciculate root system and soil cover and the absence of grazing, providing a homogeneous soil density.

SD is usually lower in the soil surface layer (ARRUDA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2014) because of the organic matter added by plants. Thus, this difference in the 10-30 cm layer is probably due to the soil aggregation, which results in a higher volume of pores and lower SD,

since PS200 presented the highest geometric mean diameter of aggregates, similar that of the control (Figure 2), and resulted in 61% higher mean biomass production (Table 8).

Other studies have also found no significant differences in SD due to the applications of PS, regardless of the time of application (VEIGA et al., 2012; MALLMANN et al., 2017). According to Andrade et al. (2016), SD and resistance to penetration are variables with high correlation with application of animal manure and soil management systems.

Soil physical attributes may change due to management practices or application of PS, mainly SD, soil particle arrangement and volume of pores. However, despite applications of PS may not change these properties, even in long-term, they generate benefits such as decreasing in soil aluminum saturation and increases in base saturation up to 20 cm depth (BRUNETTO et al., 2012).

Bandeira et al. (2019) evaluated a clayey Inceptisol in the state of Santa Catarina, Brazil, under no-tillage system with PS applications and also found no significance for SD between soil layers, but found higher SD for the control treatment in deeper layers; they attributed it to the PS stimulation of soil biological activity, which increase aggregate stability and macroporosity and decrease SD. Oliveira et al. (2014) and Arruda et al. (2010) found lower SD for the surface layer and correlated this result to the organic matter added through the PS applications, which improved soil aggregation.

The SD found in the present study were below the critical limits for root elongation and yield decreases in Oxisols of clayey with grass species (REICHERT et al., 2009), which is above 1.4 g cm². In addition, the use of Tifton-85 grass may reduce compaction of clayey soils (SEVERIANO et al., 2010).

6.3.3. C, N, and S contents

The C contents of soils fertilized with PS were significantly higher in the 0-5 cm layer, when compared to the control and the treatment with mineral fertilizer. Significant relative increases were found in the 0-5 cm layer for PS200 (50.3%) and PS400 (57.1%) when compared to the control, and for PS200 (29.9%) and PS400 (35.7%) when compared to Min200 (Table 6). This denotes the effectiveness of using PS to increase C contents in the soil, which assisted in increasing biomass production in the PS200 and PS400, which presented relative mean increases of 64.7% and 123% when compared to the control, respectively (Table 8).

C contents were similar in the soil 5-10 and 10-30 cm layers, except for PS400 in the

soil 5-10 layer, which resulted in significantly higher soil C contents when compare to the other treatments, and 45.8% higher than the control (Table 9). These results may be due to the soil surface applications of PS and the initial soil organic carbon (SOC) contents (Table 1), which were low in deeper layers, and the many PS applications over the years, which may have increased the C contents in the surface layer. In addition, PS400 presented 8.3% to 24.7% higher accumulated dry matter production than the other treatments, over the six years (cuts) (Table 8).

Increase in total C contents by PS applications improve soil aggregation, aeration, water infiltration, and decrease SD, and compaction (MAFRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016). According to Quadro et al. (2011), C and N contents of the microbial biomass increase linearly up to the PS rate of 12 and 18 Mg ha⁻¹, respectively. In addition, PS applied to Oxisols with maize and oat rotation using no-till system may increase soil organic carbon up to the rate of 200 m³ ha⁻¹, increasing C fixation in up to 1.0 Mg ha⁻¹ year⁻¹ (MAFRA et al., 2014).

Table 9. Soil bulk density, and carbon, nitrogen, and sulfur contents after application of organic (pig slurry; PS) and mineral (urea; Min200) fertilizers. Ibirubá, Rio Grande do Sul, Brazil.

Treatment	Soil layers (cm)		
	0 to 5	5 to 10	10 to 30
	Soil bulk density (g cm ⁻³)		
PS100	1.09 a	1.27 a	1.27 a
PS200	1.01 a	1.22 a	0.95 b
PS300	0.99 a	1.17 a	1.13 a
PS400	1.04 a	1.22 a	1.12 a
Min200	1.04 a	1.34 a	1.20 a
Control	1.07 a	1.24 a	1.18 a
CV (%)	7.90	8.68	6.34
	Soil organic carbon (g kg ⁻¹)		
PS100	35.87 b	22.25 b	15.86 a
PS200	39.06 a	21.06 b	15.49 a
PS300	35.82 b	22.78 b	16.79 a
PS400	40.82 a	31.29 a	16.88 a
Min200	30.07 c	22.50 b	16.93 a
Control	25.98 c	21.45 b	16.97 a
CV (%)	8.35	12.21	6.26
	Soil total nitrogen (g kg ⁻¹)		
PS100	2.70 b	2.17 b	1.63 b
PS200	3.51 a	2.24 b	1.46 b
PS300	3.07 a	2.14 b	1.77 a
PS400	3.24 a	2.84 a	1.76 a
Min200	3.48 a	2.07 b	1.63 b
Control	2.50 b	2.09 b	1.75 a
CV (%)	14.02	11.73	6.85
	Soil total sulfur (g kg ⁻¹)		

PS100	0.43 b	0.29 b	0.43 a
PS200	0.48 b	0.29 b	0.32 b
PS300	0.59 a	0.46 a	0.46 a
PS400	0.67 a	0.51 a	0.28 b
Min200	0.43 b	0.25 b	0.21 b
Control	0.48 b	0.28 b	0.22 b
CV (%)	21.29	36.58	26.16

Means followed by the same letter in the columns within each variable are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using pig slurry (PS); PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application.

N contents in the 0-5 cm layer of soils fertilized with PS and mineral fertilizer were significantly higher than those the control, except for PS100; the treatment PS400 resulted in significantly higher soil N contents than the other treatments in the 5-10 cm layer; and PS300, PS400, and the control resulted in significantly higher N contents in the 10-30 cm layer (Table 9). This denotes that increases in PS rates increased N contents in the soil due to the PS N contents; in addition, soils under PS200, PS300, and PS400 and Min200 presented higher percentages of dry matter than PS100 and Control (Table 8), which promoted a higher addition and cycling of N.

This also explains the higher N contents for the highest PS rates in deeper layers; however, the high N contents found for the Control in the 10-30 cm layer may be connected to the higher soil aggregation, showed by the high GMD presented by the Control, which was similar that of the PS200 (Figure 2). Moreover, the evaluated soil presented, naturally, high Ca, Mg, and clay contents at the beginning of the experiment (Table 6), and the maintenance of the pasture improved the soil aggregation in depth, thus protecting N contents within aggregates.

Similar results were found by Grohskopf et al. (2015), who evaluated PS at rates of 200 m³ ha⁻¹ and mineral applications to a Typic Hapludox and found higher N contents in surface layers; however, they reported that it may also result in greater losses through volatilization, leaching, and surface runoff. In addition, Lourenzi et al. (2013) evaluated the distribution of nutrients in the soil profile after 19 PS applications at rates of up to 80 m³ ha⁻¹ under no-tillage for 93 months and found increases in total N up to 30 cm, but reported that it may have undesirable environmental and economic consequences and recommended the use of lower PS rates combined with mineral fertilizers.

The treatments PS300 and PS400 showed significantly higher S contents in the soil 0-5 and 5-10 cm layers, and PS100 and PS300 showed significantly higher S contents in the soil 10-30 cm layer, when compared to the other treatments (Table 9). These results were due to the

addition of S to the soil through the PS, which increased the plant S uptake and the S cycling, since the S to C ratio in plant residues is sufficiently high for the decomposition of plant residues to release more S than soil microorganism requirements, resulting in mineralization of S (MANITOBA, 2013).

According to Peu et al. (2012), S retention by animals is, on average, 1.1 g day^{-1} , and it is not affected by the diet; thus, the S contents found in PS is highly affected by the animal's diet; they found that S contents in PS varied from 1.5 to $6.9 \text{ g pig}^{-1} \text{ day}^{-1}$, according to the diet, and is excreted mainly as sulfate. Mikkelsen and Norton (2013) found that S contents of manures vary from 0.3% to 1%, depending on the animal species, diet, and management; however, a mineralization period may be needed to convert organic S containing compounds into sulfate for plant absorption.

The addition of PS to supply N to plants can meet the S requirements of most crops, since the N to S ratio of PS ranges from 13:1 to 25:1; (MANITOBA, 2013). Balieiro Neto et al. (2008) found linear fit for shoot S contents in Tifton-85 grass, and a quadratic fit for *Panicum maximum* cv. Tanzânia for the use of increasing S rates. In addition, the use of S fertilizers can increase shoot and root biomass production of Tifton-85 and *Brachiaria decumbens* Stapf., and the uptake of S is dependent on the grass species; Tifton-85 is more responsive to S fertilizers and presents higher S absorption; however, the application of high rates of S may exceed the plant requirement and increase soil S contents (SANTOS and MONTEIRO, 1999; BALIEIRO NETO et al., 2008; SILVA et al., 2015a).

Bonfim-Silva et al. (2007) found significance for the interaction between S and N for the growth of *Brachiaria decumbens*. However, the biomass production of *Panicum maximum* cv. Tanzânia is dependent on the S to N ratio, since S deficiency affects N absorption by plants, which may result in a N deficiency that masks the S deficiency (BATISTA and MONTEIRO, 2006).

6.3.4. Soil C, N, and S stocks

C stocks of soils treated with PS were higher than those treated with Min200 and Control in the 0-5 cm layer. PS400 resulted in higher C stocks in the 5-10 cm layer, and PS200 resulted in lower C stocks in the 10-30 cm layer than the other treatments, which were similar to each other. In general (0-30 layer), C stocks of soils treated with PS100, PS400, and Min200 were higher than those of the other treatments (Table 10).

Table 10. Soil carbon, nitrogen, and sulfur stocks after application of organic (pig slurry; PS) and mineral (urea; Min200) fertilizers. Ibirubá, Rio Grande do Sul, Brazil.

Treatment	Soil Layers (cm)			
	0 to 5	5 to 10	10 to 30	0 to 30
	Soil organic carbon stocks (g kg ⁻¹)			
PS100	19.57 a	14.14 b	40.10 a	73.80 a
PS200	19.79 a	12.85 b	39.47 a	72.11 a
PS300	19.76 a	13.34 b	37.86 a	70.95 a
PS400	21.18 a	19.33 a	37.81 a	78.32 a
Min200	15.69 b	15.16 b	40.67 a	71.52 a
Control	13.83 b	13.38 b	37.01 a	64,22 b
CV (%)	8.74	19.18	6.90	8.78
	Soil total nitrogen stocks (g kg ⁻¹)			
PS100	1.57 a	1.38 b	4.11 a	7.06 a
PS200	1.78 a	1.36 b	3.88 a	7.02 a
PS300	1.52 a	1.26 b	3.98 a	6.76 a
PS400	1.68 a	1.75 a	3.94 a	7.37 a
Min200	1.81 a	1.28 b	3.90 a	6.99 a
Control	1.24 b	1.30 b	4.25 a	6.79 a
CV (%)	9.02	14,23	7.25	9.28
	Soil total sulfur stocks (g kg ⁻¹)			
PS100	0.23 a	0.19 b	1.09 a	1.51 a
PS200	0.29 a	0.18 b	1.04 a	1.51 a
PS300	0.29 a	0.27 a	1.03 a	1.59 a
PS400	0.35 a	0.31 a	0.63 b	1.29 a
Min200	0.22 a	0.17 b	0.51 b	0.90 b
Control	0.26 a	0.17 b	0.53 b	0.96 b
CV (%)	22.82	23.86	21.33	20.68

Means followed by the same letter in the columns within each variable are not different from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). PS100 = 100 kg ha⁻¹ of N using pig slurry (PS); PS200 = 200 kg ha⁻¹ of N using PS; PS300 = 300 kg ha⁻¹ of N using PS; PS400 = 400 kg ha⁻¹ of N using PS; Min200 = 200 kg ha⁻¹ of N using urea; Control = no fertilizer application.

The higher C stocks found for treatments with PS is connected to the addition of C through the PS and its effect on the mineralization of C from plant residues by stimulations of microbial activity, which increase soil organic matter mineralization, mainly in the surface layer; and the contribution of the grass roots in deeper layers (MAFRA et al., 2015). The mean dry matter production of treatments with PS were higher than the Control, and that of PS300 and PS400 were higher than the Min200 (Table 8), denoting the contribution to the addition and fixation of the soil C.

Despite the low C to N ratio of PS, the soil clay contents (Table 6) promoted C stabilization via physical and chemical mechanisms, affecting the bounding between mineral surfaces and organic matter (GOMES et al., 2018). In addition, clay + silt content is associated with soil aggregation, which affects physical protection of organic matter, decreasing C

accessibility by microorganisms (PLANTE et al., 2006).

However, the addition of soluble carbon, water, and nitrogen through PS can have different effects on aggregate formation processes and soil C and N (YAGÜE et al., 2012; LOSS et al., 2017). Mafra et al. (2014) found increases in C and N contents and stocks in clayey soils with long-term PS applications using rates of up to 200 m³ ha⁻¹.

The soil organic carbon accumulation rates are partly determined by the organic matter amount and quality added, and soil C and N stocks depend on the annual amount of manure added and their conversion rate into SOM and the SOM mineralization rate (WEST and POST, 2002; DORTZBACH et al., 2013).

Organic fertilizers with low dry matter and organic carbon contents can increase microbial activity and SOM mineralization, and only maintain or even reduce C stocks; thus, organic fertilizers such as PS combined with materials of high C:N can increase organic C stocks (ANDRADE, 2013; FERREIRA et al., 2021). SOM has significant carbon stocks and microbial biomass due to its physical properties and chemical components; thus, the amount of plant residues, root recycling, and SOM decomposition rates in agroecosystems affect soil C stocks (MAFRA et al., 2014).

The treatments had no effect on the soil N stocks, except in the soil 10-30 cm layer, in which PS200 resulted in lower N stocks (Table 10). The similar N stocks in the different soil layers and treatments are probably related to losses of N by volatilization and leaching. Despite the high N contents added to the soil through PS, soil N stocks is affected by several inherent factors: soil drainage, texture, and slope steepness affect N transport, and rainfall, temperature, soil moisture, aeration, and salt contents affect N mineralization rate from organic matter decomposition, nitrogen cycling, and cause nitrogen losses through leaching, runoff, or denitrification (USDA, 2014).

Bergström and Kirchmann (2006) evaluated soils fertilized with PS for 3 years and found that N leaching tends to increase with increasing slurry application, reaching 139 kg ha⁻¹ for the highest application used (equivalent to the PS200 treatment). Basso et al. (2004) also found that N (ammonia) losses increase as the PS rates are increased; they attributed the high potential volatilization found (up to 72%) to the higher percentage of mineral N on the PS when compared to total N and reported that the use of lower rates of PS can be more efficient for plant production.

S stocks were similar in the 0-5 cm layer and higher for the treatments PS300 and PS400 in the 5-10 cm layer; in the 10-30 layer, PS100 and PS300 resulted in higher S stocks

(Table 10). This result was due to the accumulation of S from the PS applications over the years. Santos (2017) found increases in plant sulfur contents grown in an Oxisol fertilized with addition of PS, which reflected in the biomass production of Tifton-85 pastures. This was also found in the present study; the addition of S probably partly contributed to the higher mean dry matter production of the Tifton-85 in treatments using PS.

The C, N, and S stocks in the 0-30 cm layer of soils treated with PS were, in general, equal to or higher than those in the Control and Min200 treatments. However, despite the application of PS at high rates improve organic matter contents and nutrient availability, it adds excessive rates of P, Cu, and Zn, that are potentially toxic to plants (LOURENZI et al., 2014) and to the environment, by increasing surface runoff and leaching, that can contaminate surface and subsurface waters (GIROTTTO et al., 2013; SCHERER et al., 2010). Some forms of N can also be lost by leaching (AITA et al., 2006; AITA and GIACOMINI, 2006; CERETTA et al., 2010) or volatilization to the atmosphere (NDEGWA et al., 2008; ZAMAN et al., 2009). Therefore, the PS rate equivalent to 100 kg ha⁻¹ of N is recommended for increasing soil C, N, and S stocks and aggregation due to environmental issues, since the dry matter production in this treatment was similar that in the Control.

6.4. CONCLUSION

Applications of pig slurry to clayey Typic Hapludox under Tifton-85 pastures over six years increase soil organic C, N, and S contents, mainly in the 0-5 and 5-10 cm layers; total carbon stocks in the surface layer; and total sulfur stocks in the 5-10 and 10-30 cm layer, which result in higher dry matter productions.

The PS rate equivalent to 100 kg ha⁻¹ of N is recommended for increasing soil C, N, and S stocks, since it resulted in C, N, and S stocks equal to or higher than the Control and Min200 treatments.

6.5. REFERENCES

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef Report** - Perfil da Pecuária no Brasil. 2019. Disponível em <<http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**, 1981 – 2010, Brasília. 2020. Available in <https://portal.inmet.gov.br/normais>

AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:149-161, 2006. doi.org/10.1590/S0100-06832006000100015

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. **Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas**. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 59-79.

ALBUQUERQUE, D. C. K.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; ZABOT, V.; MIRANDA, M. Residual effect of pig slurry on common carpet grass pasture. **Agriambi**, 21(6):374-378, 2017. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p374-378

ANDRADE, A. P. **Estoque e frações de carbono e atributos físicos em nitossolo vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção**. Tese (Doutorado). Universidade do Estado de Santa Catarina, 89 p., 2013.

ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D.; ROSA, M. G.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, M. S. H.; CASARA, A. C. Changes in physical properties and organic carbon of a Kandiodox fertilized with manure. **Ciência Rural**, 46(5):809-814, 2016. doi.org/10.1590/0103-8478cr20150540

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciências Agrárias**, 34:804-9, 2010. doi.org/10.1590/S1413-70542010000400002

BALIEIRO NETO, G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; FRANCO, A. C. B. J.; NOBILE5, F. O.; NASCIMENTO, R. C. Doses de enxofre na produção de massa seca e concentração de enxofre no capim-tanzânia e capim-Tifton-851. **Boletim de Indústria animal**, 65(1):63-70, 2008.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total**

Environment, 490:397-404, 2014. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019

BANDEIRA, D. H.; BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; RAMOS, J. C.; BERTOL, C. Impact of pig slurry application on soil and water losses: Comparison with a historical series. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23(6):425-431, 2019. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p425-431

BARBOSA, G.M.C.; OLIVEIRA, J.F.; MIYAZAWA, M.; RUIZ, D.B.; TAVARES FILHO, J. Aggregation and clay dispersion of an Oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil & Tillage Research**, 146:279-285, 2015. doi.org/10.1016/j.still.2014.09.022

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, O. S.; SILVEIRA M. J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, 34:1773-1778, 2004. doi.org/10.1590/S0103-84782004000600016

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-Marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:821-828, 2006. doi.org/10.1590/S0100-06832006000500008

BERGSTRÖM, L.; KIRCHMANN, H. Leaching and crop uptake of nitrogen and phosphorus from pig slurry as affected by different application rates. **Journal of Environmental Quality**, 35(5):1803-11, 2006. doi.org/10.2134/jeq2006.0003

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:309-317, 2007. doi.org/10.1590/S0100-06832007000200013

BRASIL. **Suinocultura de baixa emissão de carbono** - Tecnologias de Produção Mais Limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos. 1 ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016.

BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; MORAES, M. P.; GATIBONI, L. C.; LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1620-1628, 2012. doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026

BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A.V.; MIRANDA, M.; TRAVI, M. R. L.; ZABOT, V. Pig slurry in carpet grass pasture: Yield and plant-available nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 20(9), 2016. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p795-799

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L. DE.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(8):823-831, 2011. doi.org/10.1590/S1415-43662011000800009

CASTRO R.; MERA, C. M. P.; FIORIN J. E. Cenários produtivos em solos recuperados com a adubação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Científica Rural** 19(2), 2017.

CASTRO, C. S.; LOBO, U. G. M.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. **Revista de Agricultura Neotropical**, 3(4):48-54, 2016.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38(6):729-735, 2003. doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600009

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 139:689-99, 2010. doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.016

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. DA R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilized with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, 51:459-470, 2013. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026

CORRÊA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. DA. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. Embrapa. **Circular técnica 58**. Concórdia, SC. Setembro, 2011.

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2016. 376p.

DE MOURA ZANINE, A.; FERREIRA, D.J. Animal Manure as a Nitrogen Source to Grass. **American Journal of Plant Sciences**, 6:899-910, 2015. doi.org/10.4236/ajps.2015.67098

DIAS, V. V.; TALAMINI, E.; REVILLION, J. P. P.; SCHUSTER, M. S. Scale of consumer loyalty for organic food. **British Food Journal information**, 118:697-713, 2016.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Documentos, 402).

DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S.; PANDOLFO, C. M.; DA VIEGA, M. Carbono e nitrogênio no solo e na biomassa microbiana em glebas com diferentes usos e períodos de aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Agropecuária Catarinense**, 26(2):69-73, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise de computador para efeitos fixos projetos

de tipo de partida dividida. **Revista Brasileira de Biometria**, 37(4):529-535, 2019. doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450.

FERREIRA, G. W.; BENEDET, L.; TRAPP, T.; LIMA, A. P.; MULLER JUNIOR, V.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J. **Soil aggregation indexes and chemical and physical attributes of aggregates in a Typic Hapludult fertilized with swine manure and mineral fertilizer. International journal of recycling organic waste in agriculture**, 10:1-17, 2021. doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1896960.1051

FRANCISCO, C.A.L.; LOSS, A.; BRUNETTO, G.; GONZATTO, R.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PICCOLO, M. C.; MARQUEZAN, C.; SCOPEL, G. E.; VIDAL, R. F. **Aggregation, carbon, nitrogen, and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soils under no-tillage system fertilized with injection and surface application of pig slurry for five years. Carbon Management**, 12:257-268, 2021. doi.org/10.1080/17583004.2021.1920822

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. **Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:195-205, 2008. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100019

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; MIOLA, E. C. C. **Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48(2):211-219, 2013. doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200012

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; TRENTIN, G.; BASSO, C. J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. **Nutrient transfer by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 95:115-131, 2013. doi.org/10.1007/s10705-013-9552-2

GOMES, J. B. V.; SILVA, C. A.; FERREIRA, T. L. A.; FERREIRA, M. M.; INDA, A. V.; CURI, N. **Carbon Stocks and Pools in Relation to the Texture of Kaolinitic Soils from the Brazilian East Coast. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42:1-15, 2018. doi.org/10.1590/18069657rbc20170260

GROHNSKOPF, M. A., CASSOL, P. C., CORREA, J. C., MAFRA, M. S. H., PANISSON, J. **Organic nitrogen in a Typic Hapludox fertilized with pig slurry. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:127-139, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20150080

HE, Y. T.; ZHANG, W. J.; XU, M. G.; TONG, X. G.; SUN, F. X.; WANG, J. Z.; HUANG, S. M.; ZHU, P.; HE, X. H. **Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. Science of the Total Environment**, 532:635-644, 2015. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.011

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados Preliminares**. 2018. Disponível em

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e Utilização de Dejetos Animais: aspectos agronômicos e ambientais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; 2005.

KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 19p. (Informe Técnico)

LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; SANTOS JUNIOR, E.; MERGEN JUNIOR, C. A.; BENEDETC, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J. **Carbon, nitrogen and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. Soil and Tillage Research**, 166:52-58, 2017. doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007

LOSS, A.; VENTURA, B. S.; MULLER JUNIOR, V.; GONZATTO, R.; BATTISTI, L. F. Z.; LINTEMANI, M. G.; ERTHAL, M. E. C.; VIDAL, R. F.; SCOPEL, G.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; MARQUEZAN, C.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and aggregation index in Ultisol with 11 years of application of animal manures and mineral fertilizer. **Journal of Soil and Water Conservation**, 76(5), 2021. doi.org/10.2489/jswc.2021.00165

LOSS, A.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G.; VEIGA, M.; TOSELLI, M.; BALDI, E. Animal Manure As Fertilizer: Changes In Soil Attributes, Productivity And Food Composition. **International Journal of Research - Granthaalayah**, 7:307-331, 2019. doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i9.2019.615

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:949-958, 2014. doi.org/10.1590/S0100-06832014000300027

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; GIROTTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:157-167, 2013. doi.org/10.1590/S0100-06832013000100016

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TRENTIN, G.; GIROTTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1827-1836, 2011. doi.org/10.1590/ S0100-06832011000500037.

MACÊDO, A. J. S.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M.; SOARES, M. N. Adubação orgânica em pastagens tropicais: Revisão. **Revista eletrônica de Veterinária**, 19(3), 2018.

MAFRA, M. S. H.; ALBUQUERQUER, J. A.; GROHSKOPF, M. A.; ANDRADE, A. P.;

RAUBER, L. P.; FRIEDERICHS, A. Organic Carbon Contents and Stocks in Particle Size Fractions of a Typic Hapludox Fertilized with Pig Slurry and Soluble Fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1161-1171, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20140177

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(8):630-638, 2014. doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800007

MALLMANN, F. J. K.; DOS SANTOS, D.R.; BENDER, M.A.; GUBIANI, E.; DA VIEGA, M.; MINELLA, J.P.G.; VAN OORT, F.; ŠIMŮNEK, J. Modeling zinc and copper movement in an Oxisol under longterm pig slurry amendments. **Vadose Zone Journal**, 16(10), 2017. doi.org/10.2136/vzj2017.01.0011

MANITOBA AGRICULTURE, FOOD AND RURAL INITIATIVES. **Effects of Manure and Fertilizer on Soil Fertility and Soil Quality; Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives**: Dugald, MB, Canada, 2013; Volume 74.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agropecuária Brasileira em Números - Maio de 2019**. 11 p. 2019a. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/agropecuaria-brasileira-em-numeros-maio-de-2019.pdf/view>>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio 2018/2019 - 2028/2029**. 10 ed. Brasília: MAPA, 2019b. 126 p.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição de capim braquiária em função de doses de nitrogênio e enxofre. **Boletim de Indústria Animal**, v.60, n.1, p.1-10, 2003.

MIKKELSEN, R.; NORTON, R. Soil and Fertilizer Sulfur. *Better Crops*, 97:7-9, 2013.

MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(6):2945-2954, 2014. doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p2945

NAVROSKI, D.; FILHO, A. C.; BARBOSA, G. M. C.; MOREIRA, A. Soil attributes and microbial diversity on 28 years of continuous and interrupted for 12 months of pig slurry application. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 81:27-38, 2021. doi.org/10.4067/S0718-58392021000100027.

NDEGWA, P. M.; HRISTOV, A. N.; AROGO, J.; SHEFFIELD, R. E. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. **Biosystems Engineering**, 100(4):453-469, 2008. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.010

OLIVEIRA, D. A.; PINHEIRO, A.; VEIGA, M. Effects of pig slurry application on soil

physical and chemical properties and glyphosate mobility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5):1421-1431, 2014. doi.org/10.1590/S0100-06832014000500007

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, 2(2):66-80, 2016.

PARK, S. H.; LEE, B. R.; CHO, W. M.; KIM, T. H. Comparative nitrogen use efficiency of urea and pig slurry for regrowth yield and nutritive value in perennial ryegrass sward. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 30:514-522, 2017. doi.org/10.5713/ajas.16.0520

PEU, P.; DOURMAD, J. Y.; PICARD, S.; DABERT P. Contrôler les formes soufrées présentes dans les lisiers de porcs en utilisant l'approche alimentaire. 2012. **Journées Recherche Porcine**, 44, 127-132.

PLANTE, A. F.; CONANT, R. T.; STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, 70:287-96, 2006. doi.org/10.2136/sssaj2004.0363

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **Revista Brasileira de Agrociência**, 17:85-93, 2011. doi.org/10.18539/cast.v17i1.2035

RAYNE N.; AULA, L. **Livestock manure and the impacts on soil health: A review**. *Soil Systems*, 4:1-26, 2020. doi.org/10.3390/soilsystems4040064

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research** 102 242–254, 2009. doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002

RODRIGUES, L. A. T.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; BACCA, A.; CERETTA, C. A. Short- and long-term effects of animal manures and mineral fertilizer on carbon stocks in subtropical soil under no-tillage. **Geoderma**, 386:114913, 2021. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114913

SACOMORI, W.; CASSO, P. C.; MAFRA M. S. H.; ERDEMANN, L. F. ; ALMEIDA, J. A. Accumulation of humic substances in an Oxisol fertilized with pig slurry for 15 years. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 25(2):109-115, 2021. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p109-115

SANTOS, A. R.; MONTEIRO, F. A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 56, p.689-692, 1999. doi.org/10.1590/S0103-90161999000300025

SANTOS, C. C. **Nutrientes no solo e no capim tifton 85 cultivado em um latossolo**

adubado com dejetos líquidos de suínos. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Mato Grosso, 67 p., 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; SCHERER, C. V.; ELLWANGER, M. F. Resposta de pastagens perenes à adubação com chorume suíno: pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37(2):221-227, 2008. doi.org/10.1590/S1516-35982008000200007

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1375-1383, 2010. doi.org/10.1590/S0100-06832010000400034

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(1), 2010. doi.org/10.1590/S1415-43662010000100006

SILESHI, G. W.; NHAMO, N.; MAFONGOYA, P. L.; TANIMU, J. Stoichiometry of animal manure and implications for nutrient cycling and agriculture in sub-Saharan Africa. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 107(1):91-105, 2017. doi.org/10.1007/s10705-016-9817-7

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, 35(2):254-265, 2015. doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p254-265/2015

SILVA, V. M. DA; RIGO, M. M.; MARTINS, C. A. DA S.; MENDONÇA, E. DE S. Impacto da adubação orgânica sobre os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Enciclopédia Biosfera**, 8(14):654-664, 2012.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004. doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy.** 12. ed. Washington: United States Department of Agriculture, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

USDA - United States Department of Agriculture / Natural Resources Conservation Service (NRCS). **Soil Nitrogen, Soil Quality - Guide for Educators**. 2014. 9 p.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C. M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos. **Agropecuária Catarinense**, 25:74-78, 2012.

VENGLOVSKY, J.; SASAKOVA, N.; GREGOVA, G.; PAPAJOVA, I.; TOTH, F.; SZABOOVA, T. Devitalisation of pathogens in stored pig slurry and potential risk related to its application to agricultural soil. **Environmental Science and Pollution Research**, 25:21412–21419, 2018. doi.org/10.1007/s11356-017-0557-2

WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 66:1930-1946, 2002. doi.org/10.2136/sssaj2002.1930

YAGÜE, M. R.; BOSCH-SERRA, A. D.; ANTÚNEZ, M.; BOIXADERA, J. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: macroaggregate stability and organic matter fractions. **Science of the Total Environment**, 438:218-224, 2012. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.063

ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J. D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry**, 41:1270–1280, 2009. doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.011

ZUCCA, R.; SANTOS, R. C.; LOVATTO, J.; LOVATT, F.; SILVA, N. C. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA DECORRENTES DA SUINOCULTURA BRASILEIRA. **Enciclopédia Biosfera**, 15(28):481, 2018.

7. DISCUSSÃO GERAL

Os acúmulos de massa seca médios acumulados do capim Tifton-85 aumentam quando se utiliza adubação com dejetos líquidos de suínos (DLS) nas doses de 100, 200, 300 ou 400 ou adubação mineral com 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N). No entanto, outros fatores devem ser considerados para manter a sustentabilidade do solo e proteger o meio ambiente.

Assim, este trabalho apresentou variáveis que afetam não só a produção de massa seca, mas também as características físicas e químicas de solos de pastagens, incluindo a agregação do solo (diâmetro médio geométrico - DMG de agregados, massa de macro meso e microagregados, índices de agregação, densidade do solo) e acúmulo de nutrientes (conteúdos e estoques de C, N e S no solo e em macro e microagregados).

A agregação do solo é um indicador da qualidade física do solo afetado pela massa de macroagregados, teores de biomassa (qualidade do sistema radicular), e atividade microbiana. Os tratamentos com DLS100 e DLS200 aumentaram a massa de macroagregados e o GMD, enquanto as doses mais altas diminuíram esses atributos, provavelmente pelo aumento do conteúdo de argila dispersível, que afeta processos de agregação, diminui a floculação e reestruturação do solo, por aumentos no pH do solo e conteúdo de sódio, diminuindo conteúdos de Ca e Mg e atividade microbiana. Os índices de agregação usados, estabilidade de agregados (ASI), porcentagem de agregados >2 mm (AGRI), e índice de sensibilidade do DMG (SI_{GMD}), confirmaram os melhores resultados encontrados para conteúdo de macroagregados e GMD para os tratamentos DLS100 e DLS200.

O teor de C e N nos macro e microagregados também é afetado pelo uso de DLS e é dependente do nível de agregação pela proteção física contra a mineralização, da formação de formas ocluídas da matéria orgânica do solo (MO), e da produção de biomassa, que adiciona C e N ao solo via rizodeposição. Diferentes resultados encontrados na literatura apontam uma dependência do teor de C e N em agregado devido a diferenças nas taxas de DLS, característica inicial do solo, sistema de preparo, e tempo de avaliação. Porém, os melhores resultados foram encontrados, em geral, para os tratamentos com aplicação de DLS.

A densidade do solo não foi significativamente afetada pelos tratamentos, o que provavelmente se deve ao sistema radicular fasciculado das gramíneas, à cobertura do solo e à ausência de pastejo, porém a densidade do solo costuma ser menor na camada superficial do solo devido à matéria orgânica adicionada pelas plantas.

Os teores de C no solo foram 50,3% maiores para o DLS200, com aumento de 64,7%

na produção de biomassa, quando comparados ao controle, denotando a eficácia do uso de DLS para aumentar os teores de C no solo. Os resultados encontrados foram provavelmente devidos às aplicações de DLS na superfície do solo e aos teores iniciais de carbono orgânico (COT) do solo. A mineralização do C dos resíduos vegetais por estímulos da atividade microbiana aumentam a mineralização da matéria orgânica do solo e os estoques de C, principalmente na camada superficial e bases contribuem em camadas mais profundas. Além disso, o teor de argila e silte está associado à agregação do solo, gerando proteção física da matéria orgânica, diminuindo a acessibilidade do C pelos microrganismos.

Os teores de N na camada de 0-5 cm dos solos fertilizados com DLS e fertilizante mineral foram significativamente superiores aos do controle, exceto para DLS100, devido aos teores de N do DLS e os volumes de massa seca da pastagem. A manutenção da pastagem melhorou a agregação do solo em profundidade, protegendo os teores de N nos agregados. Os estoques de N nas diferentes camadas e tratamentos do solo foram semelhantes provavelmente devido às perdas de N por volatilização e lixiviação e desnitrificação, apesar dos altos teores de N adicionados ao solo por meio de DLS. Os estoques de N do solo podem ser afetados pela drenagem e textura do solo, declividade, precipitação, temperatura, umidade, aeração, conteúdo de sal, os quais afetam a mineralização de N, taxa de decomposição de matéria orgânica e a ciclagem de nitrogênio.

Os teores de S foram maiores nos tratamentos com DLS devidos à adição de S ao solo por meio do DLS, aumentando a absorção de S pela planta e a ciclagem de S, uma vez que a relação S para C nos resíduos vegetais é suficientemente alta para que a decomposição dos resíduos vegetais libere mais S do que o necessário para os microrganismos do solo, resultando na mineralização de S. Assim, a aplicação de altas doses de S pode exceder a necessidade da planta e aumentar os teores de S no solo. Os estoques de S foram afetados pelo acúmulo de S pelas aplicações DLS ao longo dos anos, o que parcialmente contribuiu para a maior produção média de matéria seca do Tifton-85 nos tratamentos com DLS.

Os estoques de C, N e S na camada de 0-30 cm dos solos tratados com DLS foram, em geral, similares ou superiores aos dos tratamentos Controle e Min200. Porém, a aplicação de altas taxas de DLS pode adicionar taxas excessivas de P, Cu e Zn, que são potencialmente tóxicas para plantas e para o meio ambiente. Portanto, apesar da dose de DLS400 apresentar produção acumulada de matéria seca de 8,3% a 24,7% maior do que os demais tratamentos, ao longo dos seis anos (cortes), a taxa de DLS equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N é recomendada para aumentar os estoques e agregação de C, N e S do solo devido a questões ambientais, uma vez

que a produção de matéria seca neste tratamento foi maior que a do Controle.

8. CONCLUSÃO GERAL

Aplicações de dejetos suínos (DLS) em solos cultivados com Tifton-85 podem aumentar a agregação do solo, principalmente pelo aumento da massa de macroagregados. Porém, doses de DLS mais altas diminuiram a estabilidade dos agregados, resultando em menores conteúdos de macroagregados e diâmetros médios geométricos, e maiores conteúdos de microagregados.

Os teores de C e N em macro e microagregados e a agregação do solo podem aumentar devido a aplicações de DLS em solos de pastagem, quando usadas as doses de 100 ou 200 kg ha⁻¹ de N, principalmente em camadas subsuperficiais. Assim, aplicações sucessivas de DLS como fertilizante nitrogenado pode substituir o fertilizante mineral (ureia) quando utilizadas doses adequadas, com a vantagem de melhorias na agregação do solo e liberação mais lenta de nitrogênio, sem perdas na produção de matéria seca.

Em solos argilosos, aplicações de DLS sob pastagens de Tifton-85 ao longo de seis anos podem aumentar os teores orgânicos de C, N e S do solo, principalmente nas camadas superficiais; o estoque total de carbono na camada superficial; e estoques totais de enxofre em camadas subsuperficiais do solo, resultando em maiores produções de matéria seca. Assim, a dose de DLS equivalente a 100 e 200 kg ha⁻¹ de N é recomendada para aumentar os estoques de C, N e S do solo, uma vez que resultou em estoques de C, N e S iguais ou superiores aos tratamentos Controle e Min200.

9. REFERÊNCIAS

- ABBRUZZINI, T. F. **Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 92 p., 2011.
- ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Beef Report** - Perfil da Pecuária no Brasil. 2019. Disponível em <<http://www.abiec.com.br/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>.
- ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E.; McLAUGHLIN, M.R.; BRINK, G.E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Sciences**, 173:223-235, 2008. doi.org/10.1097/ss.0b013e31816408ae
- AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(7):720-726, 2014. doi.org/10.1590/S1415-43662014000700008
- AHMED, S.; MICKELSON, S.K.; PEDERSON, C.; BAKER, J.L.; KANWAR, R.S.; LORIMOR, J.C.; WEBBER, D.F. **Swine Manure Rate, Timing, and Application Method Effects on Post-Harvest Soil Nutrients, Crop Yield, and Water Quality Implications in a Corn-Soybean Rotation**. Transactions of the ASABE 56:395-408, 2013. doi.org/10.13031/2013.42678.
- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:149-161, 2006. doi.org/10.1590/S0100-06832006000100015
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. **Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas**. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 59-79.
- AITA, C.; TONETTO, F.; GONZATTO, R.; PUJOL, S. B.; SCHIRMANN, J.; DEPOI, J. S.; MEZZALIRA, A. P.; HOCHSCHEID, M.; ZIRBES, E.; GIACOMINI, S. J. Nitrous oxide emissions in a wheat/corn succession combining dairy slurry and urea as nitrogen sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42:1-14, 2018. doi.org/10.1590/18069657rbc20170138
- ALBUQUERQUE, D. C. K.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; ZABOT, V.; MIRANDA, M. **Residual effect of pig slurry on common carpet grass pasture**. Agriambi, 21(6):374-378, 2017. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p374-378
- ANDRADE, A. P. **Estoque e frações de carbono e atributos físicos em nitossolo vermelho**

relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção. Tese (Doutorado). Universidade do Estado de Santa Catarina, 89 p., 2013.

ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D.; ROSA, M. G.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, M. S. H.; CASARA, A. C. Changes in physical properties and organic carbon of a Kandiodox fertilized with manure. **Ciência Rural**, 46(5):809-814, 2016. doi.org/10.1590/0103-8478cr20150540

ANTONELI, V.; MOSELE, A. C.; BEDNARZ, J.A.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LOZANO-PARRA, J.; KEESSTRA, S.D.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of Applying Liquid Swine Manure on Soil Quality and Yield Production in Tropical Soybean Crops (Paraná, Brazil). **Sustainability**, 11:3898, 2019. doi.org/10.3390/su11143898

AOYAMA, M; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A.; BISSONNETTE, N. Protected organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. **Canadian Journal of Soil Science**, 79(3):419-425, 1999.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciências Agrárias**, 34:804-9, 2010. doi.org/10.1590/S1413-70542010000400002

ASSEFA, S.; TADESSE, S. The Principal Role of Organic Fertilizer on Soil Properties and Agricultural Productivity - A Review. **Agricultural Research & Technology**, 2019;22(2). doi.org/10.19080/ARTOAJ.2019.22.556192

ASSIS, D. F. **Produtividade e composição bromatológica da *Brachiaria decumbens* após segundo ano de aplicação de dejetos de aves e suínos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 101 p., 2007.

BALIEIRO NETO, G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; FRANCO, A. C. B. J.; NOBILE, F. O.; NASCIMENTO, R. C. Doses de enxofre na produção de massa seca e concentração de enxofre no capim-tanzânia e capim-Tifton-851. **Boletim de Indústria Animal**, 65(1):63-70, 2008.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, 490:397-404, 2014. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019

BANDEIRA, D. H.; BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; RAMOS, J. C.; BERTOL, C. Impact of pig slurry application on soil and water losses: Comparison with a historical series. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23(6):425-431, 2019. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p425-431

BARBOSA, G.M.C.; OLIVEIRA, J.F.; MIYAZAWA, M.; RUIZ, D.B.; TAVARES FILHO,

- J. Aggregation and clay dispersion of an Oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil & Tillage Research**, 146:279-285, 2015. doi.org/10.1016/j.still.2014.09.022
- BARNABÉ, M. C.; ROSA, B.; LOPES, E. L.; ROCHA, G. P.; FREITAS, K. R.; PINHEIRO, E. P. Produção e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, 8(3):435-446, 2007.
- BARTH, G.; GOTZ, L.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. Does Dairy Liquid Manure Complementary to Mineral Fertilization Increase Grain Yield Due to Changes in Soil Fertility? **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 63(spe), 2020. doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190537
- BARTHÈS, B.; ROOSE, E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. **Catena**, 47:133-149, 2002. doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00180-1
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, O. S.; SILVEIRA M. J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, 34:1773-1778, 2004. doi.org/10.1590/S0103-84782004000600016
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-Marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:821-828, 2006. doi.org/10.1590/S0100-06832006000500008
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, Scientific Data. **Nature**, 5:180214, 2018. doi.org/10.1038/sdata.2018.214
- BENEDET, L.; FERREIRA, G. W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; LOVATO, P. E.; LOURENZI, C. R.; SILVA, H. G.; CURTI, N.; COMIN, J. J. Use of Swine Manure in Agriculture in Southern Brazil: Fertility or Potential Contamination? In: Mateo Pulko. (Org.). **Journal of Soil Contamination**, 1:1-27, 2020. doi.org/10.5772/intechopen.94525
- BERGSTRÖM, L.; KIRCHMANN, H. Leaching and crop uptake of nitrogen and phosphorus from pig slurry as affected by different application rates. **Journal of Environmental Quality**, 35(5):1803-11, 2006. doi.org/10.2134/jeq2006.0003
- BERTAGNOLI, B. G. P.; OLIVEIRA, J. F.; BARBOSA, G. M. C.; COLOZZI FILHO, A. Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. **Soil Tillage Research**, 202:104657, 2020. doi.org/10.1016/j.still.2020.104657.
- BISON PINTO, M. A.; FABBRIS, C.; BASSO, C. J., SANTI, A. L.; GIROTTO, E. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 44(2):205-212, 2014. doi.org/10.1590/S1983-40632014000200002

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:309-317, 2007. doi.org/10.1590/S0100-06832007000200013

BOTTINELLI, N.; ANGERS, D. A.; HALLAIRE, V.; MICHOT, D.; LE GUILLOU, C.; CLUZEAU, D.; HEDDADI, D.; MENASSERI-AUBRY, S. **Tillage and fertilization practices affect soil aggregate stability in a Humic Cambisol of Northwest France**. Short Communication. *Soil & Tillage Research*, 170:14-17, 2017. doi.org/10.1016/j.still.2017.02.008

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. *Tópicos Ciência do Solo*, 7:221-278, 2011.

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(1):393-404, 2008. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100037

BRASIL. **Suinocultura de baixa emissão de carbono - Tecnologias de Produção Mais Limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos**. 1 ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016.

BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; MORAES, M. P.; GATIBONI, L. C.; LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1620-1628, 2012. doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026

BRUSTOLIN-GOLIN, K. D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; ESCOSTEGUY, P. A.V.; MIRANDA, M.; TRAVI, M. R. L.; ZABOT, V. Pig slurry in carpet grass pasture: Yield and plant-available nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 20(9), 2016. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p795-799

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L. DE.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(8):823-831, 2011. doi.org/10.1590/S1415-43662011000800009

CARMO, F. F. DO; FIGUEIREDO, C. C. DO; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, 28(3):420-431, 2012.

CASTRO R.; MERA, C. M. P.; FIORIN J. E. Cenários produtivos em solos recuperados com a adubação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Científica Rural** 19(2), 2017.

CASTRO, C. S.; LOBO, U. G. M.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.

Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. **Revista de Agricultura Neotropical**, 3(4):48-54, 2016.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38(6):729-735, 2003. doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600009

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 139:689-99, 2010. doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.016

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. DE A.; RODRIGUES, G. A. DE A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L. Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais. **Coffee Science**, 12(1):30-41, 2017.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. DA R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilized with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, 51:459-470, 2013. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026

CORRÊA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. DA. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. Embrapa. **Circular técnica 58**. Concórdia, SC. Setembro, 2011.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. DE C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B. DE; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(4):1311-1322, 2012. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

DE MOURA ZANINE, A.; FERREIRA, D.J. Animal Manure as a Nitrogen Source to Grass. **American Journal of Plant Sciences**, 6:899-910, 2015. doi.org/10.4236/ajps.2015.67098

DE SOUZA GALLO, A.; GUIMARÃES, N. DE F.; DE SOUZA, M. D. B.; AGOSTINHO, P. R.; GOMES, S. DA S.; SILVA, R. F. DA. Produtividade da cultura do feijoeiro em sucessão a adubos verdes, com adição de dejetos líquidos de suínos. **Revista de la Facultad de Agronomía La Plata**, 114(1):45-51, 2015.

DIAS, V. V.; TALAMINI, E.; REVILLION, J. P. P.; SCHUSTER, M. S. Scale of consumer loyalty for organic food. **British Food Journal information**, 118:697-713, 2016.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Documentos, 402).

DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S.; PANDOLFO, C. M.; DA VIEGA, M. Carbono e nitrogênio no solo e na biomassa microbiana em glebas com diferentes usos e períodos de aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Agropecuária Catarinense**, 26(2):69-73, 2013.

DRUMOND, L. C. D.; ZANINI, J. R.; AGUIAR, A. P. A.; RODRIGUES, G. P.; FERNANDES, A. L. T. Produção de matéria seca em pastagem de Tifton 85 irrigada, com diferentes doses de dejetos líquidos de suíno. **Engenharia Agrícola**, 26(2):426-433, 2006. doi.org/10.1590/S0100-69162006000200010

DU, Y.; CUI, B.; WANG, Z.; SUN, J.; NIU, W. Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis. **Catena**, 193:104617, 2020. doi.org/10.1016/j.catena.2020.104617

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; QUADROS NETTO, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 36:1583-1590, 2012. doi.org/10.1590/S0100-06832012000500022

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise de computador para efeitos fixos projetos de tipo de partida dividida. **Revista Brasileira de Biometria**, 37(4):529-535, 2019. doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1625-1635, 2007. doi.org/10.1590/S0100-06832007000600038

FERREIRA, G. W.; BENEDET, L.; TRAPP, T.; LIMA, A. P.; MULLER JUNIOR, V.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J. Soil aggregation indexes and chemical and physical attributes of aggregates in a Typic Hapludult fertilized with swine manure and mineral fertilizer. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, 10:1-17, 2021. doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1896960.1051

FEY, R.; LANA, M. C.; ZOZ, T.; RICHART, A.; LUCHESE E. B. Relações entre lixiviação de nitrato e produção de biomassa do milho com dejetos suínos provenientes de diferentes

tratamentos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 5(2):212-218, 2010.

doi.org/10.5039/agraria.v5i2a715

FRANCISCO, C.A.L.; LOSS, A.; BRUNETTO, G.; GONZATTO, R.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PICCOLO, M. C.; MARQUEZAN, C.; SCOPEL, G. E.; VIDAL, R. F.

Aggregation, carbon, nitrogen, and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soils under no-tillage system fertilized with injection and surface application of pig slurry for five years.

Carbon Management, 12:257-268, 2021. doi.org/10.1080/17583004.2021.1920822

GATIBONI, L. C.; NICOLOSO, R. S. **Uso de dejetos animais como fertilizante: impactos ambientais e a experiência de Santa Catarina**. In: Jului Cesar Pascale Palhares. (Org.). **Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2019. p. 79-97.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:195-205, 2008.

doi.org/10.1590/S0100-06832008000100019

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; MIOLA, E. C. C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48(2):211-219, 2013. doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200012

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; TRENTIN, G.; BASSO, C. J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 95:115-131, 2013.

doi.org/10.1007/s10705-013-9552-2

GIUMBELLI L. D.; LOSS A.; KURTZ C.; MAFRA A. L. Combinations of Plant Species for Rotation With Onion Crops: Effects on the Light Fraction, Carbon, and Nitrogen Contents in Granulometric Fractions of the Soil Organic Matter. **Journal of Agricultural Studies** 9(1), 2021. doi.org/10.5296/jas.v9i1.17930

GOMES, J. B. V.; SILVA, C. A.; FERREIRA, T. L. A.; FERREIRA, M. M.; INDA, A. V.; CURI, N. Carbon Stocks and Pools in Relation to the Texture of Kaolinitic Soils from the Brazilian East Coast. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42:1-15, 2018.

doi.org/10.1590/18069657rbcs20170260

GONZATTO, R.; AITA, C.; BÉLANGER, G.; CHANTIGNY, M. H.; MIOLA, E. C. C.; PUJOL, S. B.; DESSBESEL, A.; GIACOMINI, S. J. Response of No-Till Grain Crops to Pig Slurry Application Methods and a Nitrification Inhibitor. **Agronomy Journal**, 109:1-10, 2017. doi.org/10.2134/agronj2016.09.0547

GRAHAM, E.; GRANDY, S.; THELEN, M. **Manure effects on soil organisms and soil quality**. Michigan: Michigan State University, 2010.

GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; STOKLAS, U.; ST-GEORGES, P. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. **Geoderma**, 113(3-4):237-252, 2003.

doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00363-4

GROHSKOPF, M. A., CASSOL, P. C., CORREA, J. C., MAFRA, M. S. H., PANISSON, J. Organic nitrogen in a Typic Hapludox fertilized with pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:127-139, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20150080

GROSS, A.; GLASER, B. Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. **Scientific Reports**, 11:5516, 2021. doi.org/10.1038/s41598-021-82739-7

HAEUSSERMANN, A.; HARTUNG, E.; GALLMANN, E.; JUNGBLUTHA, T. Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 112(2-3):115-121, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.011>

HANSEN, M. N.; HENRIKSEN, K.; SOMMERA, S.G. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. **Atmospheric Environment**. 40:4172-4181, 2006. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.02.013

HE, Y. T.; ZHANG, W. J.; XU, M. G.; TONG, X. G.; SUN, F. X.; WANG, J. Z.; HUANG, S. M.; ZHU, P.; HE, X. H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. **Science of the Total Environment**, 532:635-644, 2015. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.011

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados Preliminares**. 2018. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>.

INOUE, H. R. A.; SOUZA, C. F.; MATOS, A. T.; SOUSA, M. S.; VIEIRA, M. F. A. Potential of reduction in the emission of methane and nitrous oxide from swine wastewater after treated by two different systems. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, 36(6):1198-1205, 2016. doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1198-1205/2016

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e Utilização de Dejetos Animais: aspectos agronômicos e ambientais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; 2005.

KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 19p. (Informe Técnico)

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brazil. **Australian Journal of Agricultural Research**, 41:717-730, 2003. doi.org/10.1071/SR02037

LIU, M. Y.; CHANG, Q. R.; QI, Y. B.; LIU, J.; CHEN, T. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. **Catena**, 115:19-28, 2014. doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.002

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. DE P.; OLIVEIRA, R. A. DE.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional da cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1212-1224, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20140718

LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; SANTOS JUNIOR, E.; MERGEN JUNIOR, C. A.; BENEDETC, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in biogenic and physiocogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil and Tillage Research**, 166:52-58, 2017. doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BEUTLER, S. J.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, 14(2):699-708, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, L. H. C.; DA SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, 39(4), 2009. doi.org/10.1590/S0103-84782009005000036

LOSS, A.; VENTURA, B. S.; MULLER JUNIOR, V.; GONZATTO, R.; BATTISTI, L. F. Z.; LINTEMANI, M. G.; ERTHAL, M. E. C.; VIDAL, R. F.; SCOPEL, G.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; MARQUEZAN, C.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and aggregation index in Ultisol with 11 years of application of animal manures and mineral fertilizer. **Journal of Soil and Water Conservation**, 76(5), 2021. doi.org/10.2489/jswc.2021.00165

LOSS, A.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G.; VEIGA, M.; TOSELLI, M.; BALDI, E. Animal Manure As Fertilizer: Changes In Soil Attributes, Productivity And Food Composition. **International Journal of Research - Granthaalayah**, 7:307-331, 2019. doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i9.2019.615

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:949-958, 2014. doi.org/10.1590/S0100-06832014000300027

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:157-167, 2013. doi.org/10.1590/S0100-06832013000100016

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1827-1836, 2011. doi.org/10.1590/S0100-06832011000500037.

LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51:233-242, 2016. doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300005

LOYON, L.; GUIZIOU, F.; PICARD, S.; SAINT-CAST, P. Farm-Scale Applicability of Three Covers (Peat, Polystyrene Balls and Synthetic Sheet Roof) to Reduce Ammonia Emissions from Pig Slurry Storage. **Agricultural Sciences**, 7(6), 2016. doi.org/10.4236/as.2016.76041

LUZ, F. B.; ORTIGARA, C.; PIRES, C. A. B.; SOMAVILLA, A.; MORAES, M. T.; SILVA, V. R. Atributos químicos e físicos de um latossolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos. **Journal of Agronomic Sciences**, 4(2):224-237, 2015.

MACÊDO, A. J. S.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M.; SOARES, M. N. Adubação orgânica em pastagens tropicais: Revisão. **Revista eletrônica de Veterinária**, 19(3), 2018.

MAFRA, M. S. H.; ALBUQUERQUER, J. A.; GROHSKOPF, M. A.; ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; FRIEDERICHS, A. Organic Carbon Contents and Stocks in Particle Size Fractions of a Typic Hapludox Fertilized with Pig Slurry and Soluble Fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1161-1171, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20140177

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(8):630-638, 2014. doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800007

MALLMANN, F. J. K.; DOS SANTOS, D.R.; BENDER, M.A.; GUBIANI, E.; DA VIEGA, M.; MINELLA, J.P.G.; VAN OORT, F.; ŠIMŮNEK, J. Modeling zinc and copper movement in an Oxisol under longterm pig slurry amendments. **Vadose Zone Journal**, 16(10), 2017. doi.org/10.2136/vzj2017.01.0011

MANITOBA AGRICULTURE, FOOD AND RURAL INITIATIVES. **Effects of Manure and Fertilizer on Soil Fertility and Soil Quality; Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives: Dugald, MB, Canada, 2013; Volume 74.**

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agropecuária Brasileira em Números - Maio de 2019**. 11 p. 2019a. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/agropecuaria-brasileira-em-numeros-maio-de-2019.pdf/view>>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.
Projeções do Agronegócio 2018/2019 - 2028/2029. 10 ed. Brasília: MAPA, 2019b. 126 p.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição de capim braquiária em função de doses de nitrogênio e enxofre. **Boletim de Indústria Animal**, v.60, n.1, p.1-10, 2003.

MEDEIROS, T. L.; REZENDE, A. V.; VIEIRA, P. F.; CUNHA NETO, F. R.; VALERIANO, A. R.; CASALI, A. O.; GASTALDELLO JUNIOR, A. L. Produção e qualidade da forragem de capim marandu fertirrigada com dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38(2):309-318, 2007. doi.org/10.1590/S1516-35982007000200006

MELO, T. R.; PEREIRA, M. G.; BARBOSA, G. M. C.; SILVA NETO, E. C.; ANDRELLO, A. C.; TAVARES FILHO, J. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manures. **Soil & Tillage Research**, 190:186-193, 2019. doi.org/10.1016/j.still.2018.12.017

MENEZES, J. F. S.; SILVA, M. P.; CANTÃO, V. C. G.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; CAMPOS, G. W. B.; SANTOS, B. L. R. Long-term application of swine manure on soybean grown in no-till system in Savannah soils. **African Journal of Agricultural Research**, 12:487-493, 2017a. doi.org/10.5897/AJAR2016.11726

MENEZES, J. F. S.; SILVA, M. P.; NETO, I. M.; BENITES, V. M.; BERT, C. L. F. Produtividade da cana-de-açúcar e teores residuais de nutrientes no solo após aplicações dejetos líquidos de suínos. **Revista Agrarian.**, 10(35):42 -51, 2017b. doi.org/10.30612/agrarian.v10i35.4046

MIKKELSEN, R.; NORTON, R. Soil and Fertilizer Sulfur. *Better Crops*, 97:7-9, 2013.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. C. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado.** IAPAR, Londrina, 2015. (Boletim Técnico 84).

MONDARDO, D.; CASTAGNARA, D.; OLIVEIRA, P.; ZOZ, T.; MESQUITA, E. Produção e composição químico-bromatológica da aveia preta fertilizada com doses crescentes de dejetos líquidos de suínos. **Revista Ciência Agronômica**, 42(2):509-517, 2011. doi.org/10.1590/S1806-66902011000200034

MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(6):2945-2954, 2014. doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p2945

MORALES, D.; MACHADO VARGAS, M.; OLIVEIRA, M. P.; TAFFE, B.; SOARES, C. R. F. S.; LOVATO, P. Atividade microbiana em solos submetidos a diferentes doses e formas de dejetos suínos em sistema de plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, 6(2), 2011.

MORALES, D.; VARGAS, M. M.; OLIVEIRA, M. P.; TAFFE, B. L.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; LOVATO, P. E. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. **Ciência Rural**, 46:260-6, 2016. doi.org/10.1590/0103-

8478cr20140565.

MUNIZ, A. W.; CORRÊA, R. B.; FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. J. DE. **Acúmulo de carbono orgânico no sistema de plantio direto de milho no Amazonas**. Embrapa. Manaus, 2015. (Circular Técnica 48).

MURPHY, B. W. Soil organic matter and soil function – Review of the Literature and Underlying Data. **Canberra**: Department of the Environment, 2014.

NAVROSKI, D.; FILHO, A. C.; BARBOSA, G. M. C.; MOREIRA, A. Soil attributes and microbial diversity on 28 years of continuous and interrupted for 12 months of pig slurry application. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 81:27-38, 2021. doi.org/10.4067/S0718-58392021000100027.

NDEGWA, P. M.; HRISTOV, A. N.; AROGO, J.; SHEFFIELD, R. E. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. **Biosystems Engineering**, 100(4):453-469, 2008. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.010

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, 76(1):319-337, 1984.

OLIVEIRA, D. A.; PINHEIRO, A.; VEIGA, M. Effects of pig slurry application on soil physical and chemical properties and glyphosate mobility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5):1421-1431, 2014. doi.org/10.1590/S0100-06832014000500007

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, 2(2):66-80, 2016.

PALHARES, J. C. P., editor. **Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C.M.; VEIGA, M. Dejetos líquidos de bovinos na produção de milho e pastagem anual de inverno em um Nitossolo Vermelho. **Agropecuária Catarinense**, 31:67-71, 2018. doi.org/10.22491/rac.2018.v31n1.9

PARK, S. H.; LEE, B. R.; CHO, W. M.; KIM, T. H. Comparative nitrogen use efficiency of urea and pig slurry for regrowth yield and nutritive value in perennial ryegrass sward. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 30:514-522, 2017. doi.org/10.5713/ajas.16.0520

PEDRA, W. N.; PEDROTTI, A.; SILVA, T. O.; MACEDO, F. L. DE.; GONZAGA, M. I. S. Estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes condições de manejo de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com milho doce nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, 33(6):2075-2090, 2012. doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2075

PEU, P.; DOURMAD, J. Y.; PICARD, S.; DABERT P. Contrôler les formes soufrées

présentes dans les lisiers de porcs en utilisant l'approche alimentaire. 2012. **Journées Recherche Porcine**, 44, 127-132.

PLANTE, A. F.; CONANT, R. T.; STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, 70:287-96, 2006. doi.org/10.2136/sssaj2004.0363

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, 46(3):449-459, 1995. doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01341.x

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **Revista Brasileira de Agrobiologia**, 17:85-93, 2011. doi.org/10.18539/cast.v17i1.2035

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil** 269:341–356. 2005. doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y

RAUBER, L. P.; PICCOLLA, C. D.; ANDRADE, A. P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, A. L.; CORRÊA, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandudox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(4):1323-1332, 2012. doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026

RAYNE N.; AULA, L. **Livestock manure and the impacts on soil health: A review**. Soil Systems, 4:1-26, 2020. doi.org/10.3390/soilsystems4040064

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research** 102 242–254, 2009. doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002

ROCHA JUNIOR, P. R.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; DONAGEMMA, G. K.; FERNANDES, R. B. A.; BHRATHARAI, R.; KALITA, P. K. Soil, water, and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in Brazilian Atlantic Rainforest biome. **Science of the Total Environment**, 583:53-63, 2016. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.187

RODRIGUES, L. A. T.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; BACCA, A.; CERETTA, C. A. Short- and long-term effects of animal manures and mineral fertilizer on carbon stocks in subtropical soil under no-tillage. **Geoderma**, 386:114913, 2021. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114913

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

RUANGCHARUS, C.; KIM, S.U.; YOO, G.; CHOI, E.; KUMAR, S.; KANG, N.; HONG, C.O. Nitrous oxide emission and sweet potato yield in upland soil: Effects of different type and application rate of composted animal manures. **Environmental Pollution**, 279:116892, 2021. doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116892.

SACOMORI, W.; CASSO, P. C.; MAFRA M. S. H.; ERDEMANN, L. F. ; ALMEIDA, J. A. Accumulation of humic substances in an Oxisol fertilized with pig slurry for 15 years. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 25(2):109-115, 2021. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p109-115

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(1):11-21, 2008. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002

SANTOS, A. R.; MONTEIRO, F. A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 56, p.689-692, 1999. doi.org/10.1590/S0103-90161999000300025

SANTOS, C. C. **Nutrientes no solo e no capim tifton 85 cultivado em um latossolo adubado com dejetos líquido de suínos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Mato Grosso, 67 p., 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; SCHERER, C. V.; ELLWANGER, M. F. Resposta de pastagens perenes à adubação com chorume suíno: pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37(2):221-227, 2008. doi.org/10.1590/S1516-35982008000200007

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: EPAGRI, 46 p., 1996. (Boletim Técnico, 79).

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1375-1383, 2010. doi.org/10.1590/S0100-06832010000400034

SCHMITT, D. E.; GATIBONI, L. C.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; MELO, G. W. B.; BRUNETTO, G. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(2):133-140, 2014. doi.org/10.1590/S1415-43662014000200002

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(1), 2010. doi.org/10.1590/S1415-43662010000100006

SILESHI, G. W.; NHAMO, N.; MAFONGOYA, P. L.; TANIMU, J. Stoichiometry of animal manure and implications for nutrient cycling and agriculture in sub-Saharan Africa. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 107(1):91-105, 2017. doi.org/10.1007/s10705-016-9817-7

SILVA R. F.; BERTOLLO, G. M.; CORASSA, G. M.; COCCO, L. B.; STEFFEN, R. B.; BASSOI, C. J. Doses de dejetos líquidos de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**, 44(3):418-424, 2014. doi.org/10.1590/S0103-84782014000300006

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, 35(2):254-265, 2015a. doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p254-265/2015

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1585-1594, 2015b. doi.org/10.1590/01000683rbcs20150138

SILVA, V. M. DA; RIGO, M. M.; MARTINS, C. A. DA S.; MENDONÇA, E. DE S. Impacto da adubação orgânica sobre os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Enciclopédia Biosfera**, 8(14):654-664, 2012.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004. doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DE GRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, 79:7-31, 2004. doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of American Journal**, 64(2):681-689, 2000. doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. Washington: United States Department of Agriculture, 2014.

SOUSA, F. A.; SILVA, E. B.; CAMPOS, A. E.; GANDINI, A. M. M.; CORRÊA, J. M.; GRAZZIOTTI, P. H. Atividade microbiana e produção da lavoura cafeeira após adubação

com dejetos líquidos de suínos. **Bioscience Journal**. 30(4):1041-1049, 2014.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. **Biogeochemistry**, 86:19-31. 2007. doi.org/10.1007/s10533-007-9140-0

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

USDA - United States Department of Agriculture / Natural Resources Conservation Service (NRCS). **Soil Nitrogen, Soil Quality - Guide for Educators**. 2014. 9 p.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C. M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos. **Agropecuária Catarinense**, 25:74-78, 2012.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C. M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos. **Revista Agropecuária Catarinense**, 25(2), 2012.

VENGLOVSKY, J.; SASAKOVA, N.; GREGOVA, G.; PAPAJOVA, I.; TOTH, F.; SZABOOVA, T. Devitalisation of pathogens in stored pig slurry and potential risk related to its application to agricultural soil. **Environmental Science and Pollution Research**, 25:21412–21419, 2018. doi.org/10.1007/s11356-017-0557-2

VICENTE, T. F.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16(11):1215-1222. 2012. doi.org/10.1590/S1415-43662012001100010

WANG, W., LIANG, T., WANG, L., LIU, Y., WANG, Y., ZHANG, C. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. **Environmental Earth Sciences**, 68:1313-1319, 2013. doi.org/10.1007/s12665-012-1829-2

WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 66:1930-1946, 2002. doi.org/10.2136/sssaj2002.1930

WHITBEARD, A. M. **Soil organic matter: Its fractionation and role in soil structure**. Armidale: University of New England, 1996.

YAGÜE, M. R.; BOSCH-SERRA, A. D.; ANTÚNEZ, M.; BOIXADERA, J. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: macroaggregate stability and organic matter fractions. **Science of the Total Environment**, 438:218-224, 2012. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.063

YODER, R. E. A. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agriculture**, 28(5):337-351, 1936. doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x

ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J. D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry**, 41:1270–1280, 2009. doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.011

ZAMBIASI, C. A.; SILVEIRA, F. A.; LUZ, S.; GOMES, M. L.; GADOTTI, G. I.; LUZ, C. A. S.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Biodigestores para tratamento de dejetos suínos e alternativas para o desenvolvimento sustentável da propriedade. **Colloquium Agrariae**, 14(1), 2018.

ZUCCA, R.; SANTOS, R. C.; LOVATTO, J.; LOVATT, F.; SILVA, N. C. Estimativa da produção de biogás e energia decorrentes da suinocultura brasileira. **Enciclopédia Biosfera**, 15(28):481, 2018.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:428-437, 2015. doi.org/10.1590/01000683rbc20140597