

JÉSSICA DIANDRA STRINGARI

**ATRIBUTOS DA ACIDEZ DE LATOSOLO FERTILIZADO POR 15 ANOS COM
DOSES DE DEJETO SUÍNO E CULTIVADO COM MILHO E AVEIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de
Santa Catarina – UDESC, como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol

Coorientador: Prof. Ph.D. Paulo Roberto Ernani

LAGES, SC

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Stringari, Jéssica Diandra
Atributos da acidez de Latossolo fertilizado por
15 anos com doses de dejeto suíno e cultivado com
milho e aveia / Jéssica Diandra Stringari. - Lages
, 2018.
75 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol
Co-orientador: Paulo Roberto Ernani
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2018.

1. Adubo orgânico. 2. Esterco. 3. Acidez do
solo. I. Cassol, Paulo Cezar . II. Ernani, Paulo
Roberto. , .III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo. IV.
Título.

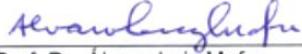
JÉSSICA DIANDRA STRINGARI

**ATRIBUTOS DA ACIDEZ DE LATOSOLO FERTILIZADO POR 15 ANOS
COM DOSES DE DEJETO SUÍNO E CULTIVADO COM MILHO E AVEIA**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Banca Examinadora:

Orientador: 
Prof. Dr. Paulo Cezar Cassel
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: 
Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: 
Prof. Dra. Analu Mantovani
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

Lages, 20 de fevereiro de 2018.

Dedico este trabalho aos meus pais
Jane Grassi e Adilson Stringari, pelo
carinho e amor dedicados a mim,
obrigada por sempre caminharem ao
meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de realizar essa importante etapa em minha vida, por guiar meu caminho, me auxiliar nas decisões escolhas e por ser fonte de inspiração nos momentos de dúvida.

Aos meus pais, Jane Grassi e Adilson Stringari, por sempre estarem ao meu lado e me apoiando em minhas decisões e me motivando a seguir em frente. Obrigada pela educação, amor, carinho e tempo a mim dedicados.

Ao professor Paulo Cezar Cassol, pela oportunidade, experiência acadêmica, paciência e a todos os ensinamentos, tanto como professor quanto orientador, que com toda a certeza fizeram a diferença para mais esta etapa em minha vida.

A todos os colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do solo que tive a oportunidade de conhecer, durante essa jornada e que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo desses dois anos. Mas especialmente aos meus amigos e colegas, Luiza Fernanda Erdmann, Wagner Sacomori e Andrei Zucco, que incansavelmente me apoiaram e me ajudaram em minha jornada de pesquisa.

Aos amigos que fiz durante essa trajetória e, que de alguma forma me ajudaram a concluir essa etapa, agradeço principalmente Milton Cesar Coldebella, Gilson Sergio Luciano Junior, Daniela Becker de Oliveira, Maria Izabel Warmling, Daniel João Dall' Orsoletta, Priscylla Pfleger e Patrícia Pretto Presotto, obrigada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por todo o conhecimento transmitido e pelo comprometimento com o ensino.

Faço também um agradecimento especial a FAPESC, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço de modo geral, a pessoas que de alguma forma estiveram presentes na minha vida e que de alguma maneira foram de grande importância para a minha formação profissional, me apoiando e acreditando nos meus sonhos.

Obrigada a todos!

RESUMO

STRINGARI, Jéssica Diandra. **ATRIBUTOS DA ACIDEZ DE LATOSOLO FERTILIZADO POR 15 ANOS COM DOSES DE DEJETO SUÍNO CULTIVADO COM MILHO E AVEIA.** 2018. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina - Lages, 2018.

O dejeto líquido de suíno (DLS) aplicado como fertilizante pode aumentar os estoques de nutrientes e matéria orgânica no solo e também promover efeito melhorador dos parâmetros da acidez desse meio. Tal efeito ainda não é totalmente conhecido, em especial em áreas de lavouras sob plantio direto (PD), onde se busca alta produtividade, sem comprometer a qualidade do solo. Entretanto, a ocorrência desses benefícios do DLS depende da escolha da dose adequadas às características do solo e do meio ambiente. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho do (DLS) empregado como fertilizante, quanto aos efeitos nos parâmetros da acidez em um Latossolo cultivado com a sucessão milho-aveia, sob PD. O experimento iniciou em 2001, no município de Campos Novos-SC e compreendeu os seguintes tratamentos: controle, sem adubação (DLS0); adubação com adubo mineral (AM); adubação mista (DS+AM); e DLS nas doses 25 (DLS25); 50 (DLS50); 100 (DLS100); e 200 (DLS200) $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$. Esses tratamentos foram aplicados uma vez ao ano, a lanço na superfície do solo. Os parâmetros da acidez do solo foram determinados em amostras de seis camadas do solo (0-2,5; 2,5-5,0; 5-10; 10-20; 20-40; e 40-60 cm de profundidade). A aplicação contínua de DLS na superfície do solo em doses de 25 a 200 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ causou pouco efeito no pH em H_2O , na acidez potencial e na capacidade de troca de cátions, porém, aumentou a soma de bases e diminuiu o teor de alumínio trocável (Al^{+3}). A adição do fertilizante nitrogenado mineral na forma de ureia promove acidificação no solo, e por consequência aumenta o teor de Al^{+3} nas camadas até 10 cm.

Palavras-chaves: Adubo orgânico. Esterco. Acidez do solo. Plantio direto.

ABSTRACT

STRINGARI, Jéssica Diandra. **PROPERTIES OF LATOSOL ACIDITY FERTILIZED FOR 15 YEARS WITH RATES OF PIG SLURRY CULTIVATED WITH CORN AND OAT.** 2018. 75 p. Dissertation (Master's Degree in Soil Science) - Santa Catarina State University - Lages, 2018.

Pig Slurry (PS) applied as a fertilizer can increase nutrient and organic matter stocks in the soil and also improve the acidity parameters of the soil. Such effects is not yet fully known, especially in areas under no-tillage system, which seeks high productivity, without harming the soil quality. However, the occurrence of these benefits of PS depends on the choice of the appropriate rate according to the soil and environment. Thus, the objective of this study was to evaluate the performance of PS utilized as fertilizer, regarding the effects on the acidity parameters of a southern Brazilian Oxisol cultivated with corn-oat succession, under no tillage system. The experiment started in 2001, in Campos Novos-SC and comprised the following treatments: control, without fertilizing (PS0); fertilization with mineral fertilizer (MF); mixed fertilization (PS+MF); and PS in the rates 25 (PS25); 50 (PS50); 100 (PS100) and 200 (PS200) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$. These treatments were spread once a year, on the soil surface. The acidity parameters of the soil were determined in samples of six layers (0-2.5; 2.5-5.0; 5.0-10; 10-20; 20-40; and 40-60 cm deep). Continuous application of PS on soil surface in rates of 25 to 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ caused little effect on whater pH, potential acidity and cation exchange capacity, however promoted increasing the sum of bases and reducing the exchangeable aluminum content (Al^{+3}). The mineral nitrogen fertilizer as urea form promote an acidifying effect on the soil, and consequently increase the toxicity of Al^{+3} in the layers up to 10 cm.

Key Words: Organic fertilizer; Manure; Soil acidity, No-tillage.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Valores de pH do solo em H₂O nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%..... 45
- Figura 2 – Valores de pH do solo em H₂O nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto..... 46
- Figura 3 - Valores de índice SMP do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%..... 47
- Figura 4 – Teores de alumínio trocável (Al³⁺) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%..... 49
- Figura 5- Valores de acidez potencial (H + Al) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%..... 51
- Figura 6 -Valores H + Al nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS

aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.....	53
Figura 7- Valores de soma de bases nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m ³ ha ⁻¹ , adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.	54
Figura 8- Valores de saturação por bases (%) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m ³ ha ⁻¹ , adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.....	56
Figura 9 -Valores saturação por bases (%) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.....	57
Figura 10- Valores de CTC efetiva nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m ³ ha ⁻¹ , adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.	59
Figura 11- Valores de CTC a pH 7,0 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m ³ ha ⁻¹ , adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.....	61
Figura 12 -Valores de CTC pH 7,0 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrego em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.....	62

Figura 13- Valores de saturação por alumínio (m%) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.....39
Tabela 2- Teores de massa seca (MS), nitrogênio total (NT), fósforo (P) e potássio (K) do dejeto líquido de suíno gerado por animais em fase de terminação empregado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2013 num Latossolo Vermelho Distroférrico.....41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 PANORAMA DA SUINOCULTURA NA ECONOMIA E UTILIZAÇÃO DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS COMO ADUBO.....	23
2.2 EFEITO DOS DEJETOS SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO RELACIONADOS À ACIDEZ.....	26
2.2.1 Acidez ativa	26
2.2.2 Acidez potencial.....	28
2.2.3 Alumínio trocável.....	30
2.2.4 Soma de bases	31
2.2.5 Saturação de bases	33
2.2.6 Capacidade de troca de cátions	34
2.2.7 Saturação por alumínio	35
3 OBJETIVOS	37
3.1 OBJETIVO GERAL.....	37
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
4 HIPÓTESES.....	38
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
5.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL .	39
5.2 TRATAMENTOS AVALIADOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	40
5.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO DLS E FORMA DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	41
5.4 AMOSTRAGEM, ANÁLISES QUÍMICAS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 pH EM ÁGUA e índice SMP.....	43
6.2 ALUMÍNIO TROCÁVEL	48
6.3 ACIDEZ POTENCIAL.....	50
6.4 SOMA DE BASES E SATURAÇÃO POR BASES	53
6.5 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS.....	58
6.6 SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO	62
7. CONCLUSÃO.....	65
8 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	66

1 INTRODUÇÃO

O alto consumo mundial de carne suína e seus derivados estimulou a expansão da suinocultura no Brasil, principalmente em Santa Catarina. Como consequência, o aumento na produção em pequenas áreas agrícolas tem gerado um grande acúmulo de dejetos produzidos, os quais são muitas vezes tratados e utilizados de forma inadequada pelo produtor. Isso tem gerado preocupação aos órgãos ambientais e instituições de pesquisa, pois estes resíduos podem causar poluição ambiental, principalmente do solo, das águas superficiais e subterrâneas. A preocupação com a poluição causada pelos dejetos de animais, tem estimulado a busca de alternativas que possibilitem a utilização mais eficiente desses resíduos (QUEIROZ et al., 2004a).

O dejetos líquido de suínos (DLS) vem se destacando como fertilizante orgânico, por essa ser uma alternativa sustentável para o seu destino final, pois esse material fornece nutrientes ao solo, podendo ser utilizado na adubação de culturas de grãos, pastagens, fruticultura e até mesmo para recuperação de áreas degradadas. O uso como fertilizante tem sido o principal destino dos resíduos em propriedades suinocultoras, pois diminui o custo com adubos industriais e possibilita destino apropriado a esses resíduos.

A aplicação de DLS no solo possibilita o fornecimento de macro e micronutrientes, devendo para isso se conhecer a composição do dejetos para calcular o volume a ser aplicado em função do sistema de culturas utilizado. Assim, a dose de DLS deverá ser calculada em função da exigência nutricional da cultura, conforme a expectativa de produção e a fertilidade do solo, ou considerando-se a reposição da exportação de nutrientes pela cultura. (CORRÊA et al., 2011).

Segundo Agne; Klein (2014), em condições adequadas de umidade, a incorporação de dejetos animais ou outros materiais orgânicos, também pode promover efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo, com o aumento na estabilidade de agregados, porosidade e retenção de água, tais características são importantes para o bom crescimento do radicular.

Além disso, a utilização continuada de resíduos orgânicos como fertilizante, aliado ao cultivo em sistema de plantio direto, ao longo do tempo, causa alterações nos atributos químicos do solo, inclusive naqueles associados à acidez (CERETTA et al., 2003). Entre os nutrientes que são adicionados em grandes quantidades pelo DLS,

destacam-se o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) que acumulam no solo e afetam os atributos da acidez, tais como soma e saturação de bases (LOURENZI et al. 2011).

A matéria orgânica do solo também é influenciada pelas sucessivas aplicações de dejeto de suínos. Em um estudo avaliando as alterações dos atributos químicos com aplicação de dejeto de suínos em três tipos de solos, Adeli et al., (2008), verificaram que houve aumento nos teores de matéria orgânica até a camadas de 15 cm, nos respectivos solos. Além de ser fonte de nutrientes, a matéria orgânica apresenta cargas elétricas em sua superfície, essas cargas influenciam nos atributos químicos, tais como, a capacidade de troca de cátions do solo, saturação por alumínio (Al) e saturação de bases.

É necessário continuar as pesquisas com o DLS, para que seus efeitos sejam conhecidos nos diferentes tipos de solos, possibilitando que seja utilizado de forma eficaz pelo produtor com máximo aproveitamento se seus benefícios e, reduzindo os impactos ambientais causados pelos mesmos. Assim, esse trabalho foi desenvolvido para avaliar o desempenho do DLS em aplicações anuais, quanto aos efeitos nos parâmetros da acidez do solo em um Latossolo cultivado com sucessão milho-aveia, sob o sistema de plantio direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA DA SUINOCULTURA NA ECONOMIA E UTILIZAÇÃO DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS COMO ADUBO

A carne suína por ser uma fonte de proteína animal de baixo custo, é uma das mais produzidas e consumidas mundialmente, representando quase metade do consumo e da produção de carnes. Segundo USDA (2016), o continente asiático detém a maior produção de carne suína no mundo, sendo que a China é disparado o maior produtor com aproximadamente 54,8 milhões de toneladas, ou seja, com aproximadamente 50% do total mundial, em seguida está a União Europeia e os Estados Unidos. O Brasil é quarto maior produtor, pois, no ano de 2015 foi responsável por produzir cerca de 3,5 milhões de toneladas de carne suína, ou 3,2 % do total mundial. Os cinco maiores produtores mundiais, China, União Europeia, Estados Unidos, Brasil e Rússia são também os principais consumidores, e foram responsáveis por mais de 80% da produção e consumo desse tipo de carne no mundo. O ano de 2015 foi marcado por ter elevadas exportações mundiais de carne suína, sendo União Europeia, Estados Unidos, Canadá, Brasil e China os principais centros de origem, com aproximadamente 93% da carne suína comercializada mundialmente, já o Brasil ocupou o quarto lugar em relação as exportações mundiais, desse tipo de carne (USDA,2016).

Dessa forma, a suinocultura brasileira possui grande importância para a economia nacional, tanto pela sua qualidade, quanto pelos bons índices de produtividade. Essa atividade é praticada com maior ou menor intensidade em todos os estados do Brasil, entretanto, no ano de 2016 os três estados da região Sul do país apresentaram o maior rebanho de suínos, com 49,28% do total nacional (CEPA, 2016). Assim, a região Sul contribui com expressiva produção, visto que respondeu por 66,9% do abate nacional de suínos, no primeiro trimestre de 2017, seguida pelas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte (IBGE,2017). No estado de Santa Catarina a atividade suinícola apresenta grande destaque e importância socioeconômica, já que continua liderando a produção de suínos, com 26,8% da participação nacional, com aumento de 228,56 mil cabeças produzidas no primeiro trimestre de 2017 (IBGE,2017). A maior parte do rebanho de suínos de Santa Catarina está concentrada na região Oeste, sendo a mais importante área de produção

suinícola do estado, responsável por aproximadamente 78% dos suínos abatidos em 2015 (CEPA, 2016). Portanto, com o aumento do incremento da atividade, houve também aumento no volume de dejetos produzido. Com isso a poluição causada pelo manejo incorreto dos dejetos na suinocultura, tem se tornado cada vez mais preocupante, principalmente nas regiões de alta densidade de criação de suínos.

Além disso, nas últimas décadas, os sistemas de produção de suínos foram drasticamente modificados, concentrando o rebanho em um número cada vez menor de granjas e ocupando pequenas áreas rurais, frequentemente sem áreas suficientes para disposição dos resíduos da atividade (OLIVEIRA, 2002). Devido aos avanços tecnológicos, houve interesse crescente, por parte dos produtores, em confinar animais em todas as fases do ciclo produtivo, culminando com elevados índices de produtividade por unidade de área. (KONZEN et al., 1997). Segundo (OLIVEIRA, 1993) essa crescente tendência para a adoção de Sistemas Confinados de Produção de Suínos especialmente no sul do país, tem produzido quantidades cada vez maiores de dejetos.

De acordo com Dartora et al., (1998) dessa forma a quantidade total de dejetos produzido por um suíno, de acordo com sua fase de desenvolvimento, é fundamental para o planejamento do seu destino final. Conforme Oliveira (1993) a quantidade estimada de dejetos produzido por cada animal na fase de terminação é de 7 litros por dia, sendo que a produção de suínos cresce a cada ano em Santa Catarina. Essa elevada produção de DLS tem gerado preocupação na sociedade, especialmente dos órgãos ambientais e instituições de pesquisa, pois estes materiais estão associados a poluição ambiental, principalmente do solo, das águas superficiais e subterrâneas. Esta preocupação com a poluição causada pelos dejetos de animais tem estimulado a busca de alternativas que possibilitem a utilização mais eficiente desses resíduos (QUEIROZ et al., 2004a).

Todavia o aproveitamento do DLS como fertilizante orgânico vem se destacando, por ser uma alternativa sustentável para o seu destino final, pois esse material contém nutrientes, podendo ser utilizado na produção de grãos, pastagens, fruticultura e até mesmo para recuperação de áreas degradadas. Assim, o DLS se constitui num fertilizante que pode substituir, em parte ou totalmente, a adubação mineral, dependendo das condições existentes e dos propósitos do agricultor.

A utilização do DLS como fertilizante é comum em culturas anuais, como feijão e milho, as quais são normalmente cultivadas em regiões de minifúndio e onde

paralelamente se desenvolve a suinocultura (TISOTT et al., 1997). Devido aos elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, DLS pode melhorar, os atributos físicos, além das características químicas e biológicas do solo, dessa maneira possibilitando o seu emprego na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos que trazem benéficos ao desenvolvimento e ao aumento da produtividade das plantas (SCHERER et al., 2007). Os fertilizantes orgânicos são em geral completos em termos de diversidade em nutrientes minerais, indicando que o DLS além de fonte de nitrogênio (N) e fósforo (P), também fornece potássio (K), Ca e Mg ao solo (CASSOL et al., 2012).

Pesquisas anteriores também com a aplicação de resíduos de suínos com distintos períodos de aplicação em Latossolo Vermelho distroférrico, verificaram que houve aumento significativo nos teores de Ca no solo, principalmente na camada até 5 cm de profundidade (BARILLI, 2005). Além disso Silva et al., (2015), observaram maiores teores de magnésio em profundidade do solo, especificamente na camada de 20 cm utilizando doses de resíduos de suínos aplicado em pastagem, em Latossolo Vermelho eutrófico. Conforme Ceretta et al., (2003), também ao avaliarem as alterações de algumas características químicas de um solo sob pastagem natural e as implicações ambientais, devido ao uso de esterco líquido suíno, perceberam que o uso sistemático de esterco líquido de suínos representa a adição de grande quantidade de nutrientes ao solo, elevando principalmente os teores de fósforo, cálcio e magnésio nessas áreas, além de criar um ambiente melhor para o desenvolvimento de plantas, através da diminuição da saturação por Al.

Além de fornecer nutrientes, sucessivas aplicações de DLS podem influenciar nos teores de matéria orgânica do solo. Em um estudo Adeli et al., (2008), avaliando as alterações dos atributos químicos com aplicação de dejetos de suínos por um período de 15 anos, em três tipos de solo, verificaram que houve aumento nos teores de matéria orgânica até a profundidade de 15 cm nos respectivos solos. Dentre as características conferidas a matéria orgânica, é uma das principais fontes de nutrientes, pois fornece especialmente N, S e P, quando mineralizada. Além disso, a matéria orgânica apresenta carga elétrica em sua superfície, essas cargas influenciam nos atributos químicos, tais como, a capacidade de troca de cátions do solo, saturação por Al e saturação por bases.

No entanto, deve-se conhecer a composição do DLS, já que adubos orgânicos, ao contrário de fertilizantes químicos, apresenta proporções muito variáveis em

relação aos nutrientes que estão presentes na sua composição, sendo considerado um fertilizante não balanceado. Assim, a dose desse dejeto deverá ser calculada em função da exigência nutricional da cultura em si, conforme a expectativa de produção e a fertilidade do solo (SEGAFREDO, 2007). Pois se as quantidades adicionais forem maiores que aquelas absorvidas pelas culturas, haverá acúmulo de nutrientes no solo, resultando em uma sequência de problemas de ordem ambiental e econômica ao longo do tempo (BURTON, 1996), como por exemplo a dificuldade da absorção de nutrientes específicos, devido ao excesso K^+ e Ca^{2+} , desse modo, podendo causar a deficiência de Mg^{2+} para as plantas.

2.2 EFEITO DOS DEJETOS SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO RELACIONADOS À ACIDEZ

2.2.1 Acidez ativa

O pH ou potencial hidrogeniônico é a medida do grau de acidez ou alcalinidade de uma solução nos mais diversos sistemas químicos. Para Catani; Gallo (1955), o pH do solo ou de outro meio qualquer, indica a concentração de íon hidrogênio livre, ou melhor dizendo, H_3O^+ , hidrônio ou hidroxônio, expressa em íon grama por litro de solução.

Pode-se afirmar que, o pH do solo está relacionado com a concentração de H^+ na solução do solo, o que determina a acidez ativa do solo. A acidez ativa é representada pela atividade dos íons H^+ em solução. É ela que afeta as plantas e a maioria das reações que ocorrem no solo relacionadas com a disponibilidade de nutrientes, e não à quantidade total de acidez do solo (acidez potencial) (Ernani, 2016).

A acidez ativa é expressa nas análises de solo pelo valor de pH determinando-se atividade de H^+ numa suspensão de solo com água, ou de solo com alguma solução salina, normalmente cloreto de cálcio $0,01\text{ mol L}^{-1}$ (SOUZA et al., 2007). Os valores de pH de uma mesma amostra apresentam diferenças de acordo com o solvente utilizado na determinação, para solos com o predomínio de cargas elétricas negativas, o pH da solução salina é menor do que o pH determinado em água, em aproximadamente 0,5 a 0,6 unidades decimais (ERNANI; ALMEIDA, 1986). Segundo

Quaggio; Raij (2001), o pH determinado na solução salina (CaCl_2) é considerado um dos mais precisos, pois sofre menor influência do efeito salino da solução do solo.

Como a concentração ou a atividade de H^+ é muito baixa, mesmo em soluções muito ácidas, originou-se o conceito de pH, com o objetivo de expressar números extremamente pequenos em valores que pudessem ser facilmente comparáveis. Decidiu-se, portanto, expressar o pH como sendo um logaritmo, pela equação; $\text{pH} = \log [1 / (\text{H}^+)]$ ou $\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$, em que (H^+) corresponde a atividade do íon hidrogênio em mol L^{-1} . Sendo assim, no modelo proposto por Sörensen, quando $(\text{H}^+) = 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ a atividade de H^+ é $0,0001 \text{ mol L}^{-1}$, ou seja, o pH = 4,0 (SOUSA et al., 2007). Deste modo, quanto menor for o valor de pH, mais ácida será a solução, já que essa escala é logarítmica.

A escala de pH a uma temperatura de 25 °C varia de 0 a 14. Abaixo de 7,0, representa acidez, pois a quantidade de átomos de H^+ é maior que a quantidade de moléculas de OH^- , já para pH acima de 7,0, ocorre o contrário e, portanto, representa alcalinidade. Quando o número de átomos de H^+ é igual ao número de moléculas OH^- e o pH for igual a 7,0, pode-se afirmar que o meio é neutro (SPOSITO, 1989).

O uso contínuo de DLS pode também, aumentar o pH do solo, principalmente em camadas superficiais. Como observado por Lourenzi et al., (2016), que após aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos com maravalha, constatou que houve o aumento nos valores de pH do solo. Esse resultado encontrado, pode ser explicado pela maior quantidade de compostos orgânicos presentes nesses resíduos, dessa forma favorecendo a adsorção dos íons H^+ e, como consequência, promovendo o aumento do pH do solo Lourenzi et al., (2011). Em contrapartida, outros estudos, Caovilla et al., (2005); Gomes et al. (2004), não observaram diferenças significativas nos valores de pH, de solo tratado com DLS ou água resíduária proveniente da suinocultura.

Segundo Cassol et al., (2001), de modo geral os resíduos orgânicos podem elevar o pH do solo, no entanto, a intensidade do efeito é pequena e temporária em comparação com o calcário, dessa forma sendo insuficiente para acarretar em um efeito significativo, principalmente em solos que apresentam alto poder tampão. Outros autores como Scherer et al., (1996) e Ceretta et al., (2003) também afirmam que a possibilidade de alteração no pH do solo com a aplicação de esterco líquido de suínos é mínima, principalmente tratando-se de solos altamente tamponados, mesmo

que os teores de alumínio possam ser diminuídos, principalmente pela adição de compostos orgânicos de baixo peso molecular.

Queiroz et al., (2004b) trabalhando em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, após aplicar água resíduária da suinocultura por escoamento superficial em rampas cultivadas com diferentes espécies de gramíneas forrageiras, verificaram decréscimo nos valores de pH do solo. No entanto, resultados encontrados por Cassol et al., (2012), na mesma área experimental deste estudo, onde avaliou a disponibilidade de nutrientes e rendimento da cultura do milho em um Latossolo Vermelho distroférrico, sob doses crescentes de dejetos líquido suíno (0, 25, 50, 100, 200 m³ ha⁻¹), mostraram que não houve efeito nas diversas aplicações realizadas. Segundo os autores, deve-se à provável ausência de compostos de reação alcalinizante, como carbonatos ou ânions orgânicos em quantidades suficientes, principalmente quando o poder tampão do solo é alto, como é o caso do solo avaliado. Além disso, o DLS contém teores altos de N na forma amoniacial (SACOMORI et al., 2016), cuja nitrificação no solo tem efeito acidificante, o que neutraliza e pode até superar o efeito dos componentes alcalinizantes (CASSOL et al., 2012).

Resultados encontrados por Peles (2007), em estudos semelhantes, também não foram observadas variações significativas nos valores de pH do solo em diferentes doses de dejetos líquidos de suínos (0, 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹). Por outro lado, Brunetto et al. (2012), em um experimento sobre um Argissolo Vermelho, onde foram avaliadas aplicações sucessivas de dejetos suínos na forma líquida e de cama sobreposta de suínos nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm, observou-se que os valores de pH foram acima de 5,5 para todos os tratamentos. Porém, para Epstein et al. (1976), o efeito desse tipo de resíduo se restringe aos primeiros meses após sua aplicação.

2.2.2 Acidez potencial

A acidez potencial é constituída de Al e H que se encontram adsorvidos na fase sólida do solo e, de certo modo é a acidez que não causa danos diretos às plantas, pode-se dizer que é a reserva de acidez no solo. Sempre que há o consumo de prótons na solução do solo, ela o repõem rapidamente, desta forma sendo chamada de acidez potencial.

Para Raij; Quaggio (2001), a acidez potencial é aquela que envolve não apenas os íons Al^{3+} , mas também as fontes de íons H^+ que existem nos componentes sólidos do solo, tais como os grupos funcionais, orgânicos e inorgânicos. Consequentemente, ela é proporcional aos teores de Al, argila e matéria orgânica existentes no solo, e determina a necessidade de calcário no solo (ERNANI, 2016). Deste modo, pode-se afirmar que a acidez potencial refere-se à quantidade de formas trocáveis e não trocáveis desses íons no solo.

Portanto, quando se consideram todos os cátions trocáveis do solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ $\text{Na} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), afirma-se que a acidez potencial é parte da CTC a pH 7,0 (RONQUIN, 2010). Quanto mais elevada, maior será a quantidade de H^+ e Al^{3+} reservada no solo e que poderão ser deslocadas para a solução do solo, uma vez que a acidez potencial é constituída de hidrogênio e alumínio.

Para a determinação da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), o método utilizado com maior frequência é o extrator de acetato de cálcio ($\text{Ca} (\text{OAc})_2$), 0,5 mol L^{-1} a pH 7,0, onde são extraídas a acidez trocável e acidez não-trocável, ou acidez dependente de pH. Outra forma para estimar o $\text{H} + \text{Al}$ é pelo meio potenciométrico, usando o método SMP. Trata-se de uma solução tamponada a pH 7,5 e que funciona adequadamente para amostras de solo do horizonte A, ou seja, que contenha matéria orgânica. Por essa razão, o método SMP é o método oficial adotado em alguns estados do sul do Brasil, como por exemplo os Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, para a determinação da acidez potencial e consequentemente para determinar a necessidade de calcário nos solos agrícolas dessa região.

Segundo Franchini et al., (2000), a adição de compostos orgânicos, podem promover o efeito direto na redução da acidez. Em estudos conduzidos por Scherer et al., (2007), em dois experimentos realizados em sistema de plantio direto, com a utilização de doses de esterco de suínos de 40 e 115 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ em Latossolo Vermelho distroférrego típico nos municípios de Guatambu e Chapecó em Santa Catarina, constataram que a maior acidez potencial foi de 17 e 15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para Guatambu e Chapecó respectivamente, na profundidade de 40 a 50 cm, após três e quatro anos de cultivo de milho. Concomitante a esses resultados Brunetto et al., (2012), encontraram valores maiores de $\text{H} + \text{Al}$ na camada mais profunda, de 20-30 cm em todos os tratamentos avaliados no estudo, que podem estar associados à maior concentração de H^+ , refletida nos valores mais baixos de pH da água e maiores concentrações de alumínio trocável.

Ricci et al., (2010), utilizando doses crescentes de composto orgânico de lodo de esgoto (0, 20, 40, 80 Mg ha⁻¹) e resíduos de roçagem em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico degradado, constataram que após dois anos da aplicação, houve a redução da acidez potencial de 3,0 para 2,6 cmol_c dm⁻³ na maior dose aplicada.

2.2.3 Alumínio trocável

Segundo Rout et al., (2001), o Al é o metal encontrado em maior abundância (8%, na média das rochas da litosfera) na crosta terrestre. O alumínio não ocorre na forma elementar na natureza. Devido à alta afinidade pelo oxigênio, ele é encontrado como íon Al³⁺ em rochas e minerais. Como o alumínio é um dos principais componentes dos minerais, quando liberado devido aos processos de intemperismo, é hidrolisado, aumentando a acidez do solo pelo processo de liberação de prótons (JACKSON, 1963). Relatos de trabalhos anteriores, mostram o alumínio como um dos principais agentes capazes de contribuir para a limitação da produtividade em lavouras produtoras de cereais no mundo (MATSUMOTO, 2000), mesmo que esteja em concentrações baixas no solo.

O principal efeito negativo do alumínio nas plantas está relacionado principalmente com a inibição do desenvolvimento do sistema radicular, causando engrossamento e diminuição das ramificações radiculares. Assim, em solos que contém altos teores de Al³⁺, em condições de acidez elevada, podem prejudicar as raízes na absorção de água e nutrientes, principalmente daqueles que se movem por difusão no solo, como por exemplo fósforo e potássio (ERNANI, 2016), além de interferir, também, na atividade dos microrganismos.

Conforme Sposito (1989), as diferentes formas químicas do alumínio estão relacionadas com o pH e com a composição mineral do meio. Dessa forma, quando há a acidificação do solo, aumenta a solubilidade dos compostos de alumínio, ocasionando o aumento da concentração de alumínio livre na solução. De acordo com Pavan et al., (1982), predominam na solução do solo o alumínio na forma de íon Al³⁺, sendo essa a forma tóxica para as plantas, este fato pode ser observado quando o pH se encontra abaixo de 5,5. Em valores bem mais altos de pH, superiores a 8,0 o alumínio passa a existir como íon aluminato Al(OH)₄⁻, então as formas tóxicas, deixam de existir na solução do solo (BERTSCH; BLOOM, 1996).

O uso de DLS pode diminuir as condições de toxidez de alumínio no solo devido ao seu potencial neutralizante desse elemento. Em resultados encontrados por Ceretta et al., (2003) em um Alissolo Crômico Órtico típico, aplicando esterco líquido de suínos em doses de 0, 20 e 40 m³ ha⁻¹ nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm por quatro anos, o teor de alumínio trocável reduziu com a aplicação do esterco até a camada de 10 a 20 cm de profundidade, principalmente com o uso da maior dose, 40 m³ ha⁻¹. Segundo Ceretta (1995) a complexação de Al, principalmente pelas frações de ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica, que aumentam significativamente no solo, devido as adições de altas quantidades de carbono, podem ser a explicação para o decréscimo de Al trocável no solo. Em um trabalho conduzido por Cabral et al., (2011) avaliando o efeito da aplicação de altas doses de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico sobre a produção de capim elefante, o valor médio do Al³⁺ no solo antes de aplicar o resíduo nos tratamentos foi 7,0 mg L⁻¹ e, após sua aplicação, o valor foi de 3,5 mg L⁻¹, com redução na concentração de Al³⁺ em todas as camadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Dal Bosco et al. (2008), que observaram a redução do alumínio em duas profundidades (0-30 e 30-60 cm), após oito anos de aplicação de água residuária de suínos.

2.2.4 Soma de bases

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus reflete na soma dos cátions básicos, tais como, cálcio, magnésio e potássio trocáveis exceto H⁺ e Al³⁺ no complexo sortivo, podendo ser calculada pela fórmula (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺) e deve ser expressa em cmol_c dm⁻³ ou mmol_c dm⁻³. Outro elemento que deveria ser utilizado nos cálculos é o sódio (Na), entretanto, a sua quantidade geralmente é inexpressiva nos solos brasileiros.

Quanto mais básico for o solo, menor o teor de alumínio trocável, menor a percentagem de saturação por alumínio, maiores os teores de cálcio, magnésio e potássio e, consequentemente, maior será a soma de bases trocáveis. Além disso, o valor da soma de bases (S) indica o número de cargas negativas que estão ocupados por bases nos coloides do solo.

Marques et al., (2015), pesquisando os efeitos da aplicação do biofertilizante de dejeto de caprino no solo na cultura do sorgo nas doses de 5,0; 10; 15 e 20 t ha⁻¹

e utilizando a adubação mineral como controle, observaram que houve acréscimo na saturação por bases no solo quando comparada à adubação mineral. Para Erthal et al., (2010), os aumentos na soma de bases são atribuídos à alta concentração de íons e aos coloides orgânicos presentes nos efluentes.

Em compensação, Homem et al., (2014), em um trabalho realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, avaliando a aplicação de doses contínuas de água residuária da suinocultura (0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹ ano) em duas profundidades 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m e em tempos de coleta de amostras de solo de 0, 82 e 138 dias, constatou que a água residuária da suinocultura, promoveu aumento de 4,24 e 3,28 cmol_c dm⁻³ na soma de bases aos 82 dias, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40, respectivamente.

Com a aplicação de doses elevadas de DLS na superfície do solo, pode ocorrer o aumento da soma de bases em profundidade, esse fato pode ser em decorrência da lixiviação de cátions básicos no perfil do solo. Os íons em solução interagem com a fase sólida do solo, formando diferentes complexos que afetam sua adsorção ou a mobilidade (LUCHESE et al., 2007). Íons altamente hidratados (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) compõem complexos de esfera externa com a fase sólida do solo, movimentando-se mais livremente com a passagem da água (SPOSITO, 1989), entretanto, dependendo do tipo de solo e seu material de origem, o K⁺ pode formar complexos de esfera interna com os componentes minerais dos solos devido ao seu raio iônico (SPOSITO, 1989), favorecendo a sua retenção no solo.

Além disso, outro motivo é a decomposição de resíduos orgânicos, tais como, dejetos de animais, que podem gerar ânions como o SO₄²⁻ e NO₃⁻ no solo, podendo promover maior mobilidade de cátions básicos, aumentando suas concentrações em profundidades maiores (OLIVEIRA et al., 2002). Em um trabalho realizado por Gebrim et al., (2008), onde investigaram o efeito da aplicação de cama de aviário na lixiviação de Ca, Mg, K e Na em solos e sua associação com ânions inorgânicos (Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻), indicaram que a cama de aviário favoreceu a lixiviação de Ca, Mg, K e Na para as camadas mais profundas do solo. Esse fato pode ser atribuído ao suprimento de grandes quantidades de Ca, Mg, K e Na pela própria cama e ao efeito dos ânions inorgânicos como acompanhantes, uma vez que esses ânions apresentaram a mesma tendência que as percolações de bases neste experimento.

A grande importância dessa maior lixiviação de bases ao longo do perfil do solo, seria proporcionar melhores condições às plantas, visando o crescimento radicular em

profundidade e, como consequência, capacidade de explorar maior volume de solo, com aumento da tolerância principalmente em situações de déficits hídricos (RITCHHEY et al., 1982; PAVAN et al., 1984).

2.2.5 Saturação por bases

A saturação por bases (V%) é denominada como sendo a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions (V% = 100. S/CTC), onde divide-se o valor da soma de bases pela CTC a pH 7,0, na fórmula. Ou seja, reflete a porcentagem da CTC a pH 7,0 que está ocupada pelas bases trocáveis existentes no solo.

A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. O solo é chamado de eutrófico ou com alta saturação por bases, quando o seu valor V for igual ou superior a 50%, e, em contrapartida é dito distrófico ou de baixa saturação, quando o valor V for inferior a este limite. Assim, a princípio, solos eutróficos são considerados mais férteis do que os solos distróficos (RONQUIN, 2010). A maioria das culturas apresenta alta produtividade quando no solo o valor V% situa-se entre 50 e 80%.

Quando um determinado solo apresenta um índice (V%) baixo, significa que há pequenas quantidades de cátions básicos trocáveis, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas dos coloides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H^+ e Al^{3+} . Provavelmente nesse caso, o solo apresenta um caráter ácido e geralmente contém Al em nível tóxico às plantas.

No manejo da fertilidade do solo, o aumento do pH do solo é feito com corretivos que adicionam bases ao solo, de forma a elevar também a sua saturação na CTC. Esta é uma das razões do uso do calcário, pois, além de elevar o pH do solo, este corretivo adiciona Ca^{2+} e Mg^{2+} ao solo.

Em um trabalho conduzido por Queiroz et al. (2004b) avaliando amostras de solo na camada de 0-20 cm, após aplicar água resíduária proveniente da suinocultura (ARS) e água da rede de abastecimento (ARA) por escoamento superficial em rampas cultivadas com quatro diferentes espécies de gramíneas forrageiras, verificaram que houve redução na percentagem da saturação por bases no solo que recebeu a água resíduária da suinocultura.

De acordo com Homem et al., (2014), em um estudo realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, cultivado com duas espécies para pastagem e avaliando a aplicação de doses sucessivas de água resíduária da suinocultura (0, 50, 100, 150 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) em duas profundidades 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m e em tempos de coleta de amostras de solo de 0, 82 e 138 dias, constataram que a água resíduária da suinocultura, reduziu a saturação por bases no final do experimento, esse tipo de material difere do DLS devido a sua composição, pois é constituído dos dejetos diluídos, água desperdiçada em bebedouros e a água de lavagem das instalações em regime de confinamento (GOMES FILHO et al., 2001) , explicando o efeito de reduzir a saturação por bases em relação ao DLS.

Já Da Ros et al., (2017), em uma pesquisa quantificando a disponibilidade de nutrientes e a acidez do solo após quatro aplicações de ARS em cultivos de grãos, observaram que saturação de bases, foi um dos componentes da acidez do solo que aumentou com a adição de ARS em todas as camadas de solo avaliadas.

Lourenzi et al., (2011) aplicaram DLS como fonte de nutrientes para avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo após 95 meses de cultivo e 19 aplicações em doses de 0, 20, 40 e 80 $m^3 ha^{-1}$ e analisou amostras de 16 camadas de solo (0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm de profundidade), constatou que a aplicação desse material aumentou a saturação de bases nas camadas até a profundidade de 12 cm.

2.2.6 Capacidade de troca de cátions

As argilas, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio possuem determinada superfície de troca e, são os principais coloides responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos, principalmente sob condições tropicais. Deste modo, a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + H^+ + Al^{3+}$).

A capacidade de troca iônica dos solos representa, portanto, o grau da capacidade de liberação dos nutrientes catiônicos, favorecendo a manutenção da sua disponibilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes.

Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$, pode-se afirmar que esse solo é adequado para a nutrição das plantas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como Al^{3+} este será um solo nutricionalmente pobre. A CTC baixa indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions trocáveis, nesse caso, deve-se fazer adubação e calagem de forma parcelada para evitar maiores perdas por lixiviação (RONQUIN, 2010).

Por fim, a CTC pode ser expressa como CTC a pH 7,0, quando considerar todos os cátions permutáveis do solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Quando a CTC é expressa sem considerar o íon H^+ ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+}$) a denominação é CTC efetiva.

Em trabalho com uso de dejeto líquido de suínos como fonte de nutrientes e para avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo, após 19 aplicações em doses de 0, 20, 40 e 80 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, Lourenzi et al., (2011) verificaram que apesar de aumentar a matéria orgânica em camadas do solo (MOS) esse resíduo aumentou a CTC do solo somente na camada de 0-2 cm. Segundo Hernández et al., (2006) a pouca relação entre MOS e CTC do solo, pode estar relacionada às baixas relações de compostos fenólicos e grupos carboxílicos nas substâncias húmicas derivadas do DLS.

De acordo com Erthal et al., (2010), em um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação da água residuária de bovinocultura (ARB) sobre as químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, em quatro taxas de aplicação da ARB (25, 50, 75 e 100 kg ha^{-1} de K), em condições de lisímetros de drenagem e em ambiente protegido, observaram que os valores de CTC aumentaram de 2,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para 5,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com acréscimos nas taxas de aplicação da ARB, principalmente nas camadas superficiais do solo. Conforme os próprios autores, o aumento na CTC com a aplicação de águas residuárias, é atribuído a alta concentração de íons e a presença de coloides orgânicos nos efluentes.

2.2.7 Saturação por alumínio

Expressa qual a porcentagem da CTC efetiva está ocupada pela acidez trocável, ou seja, pelo alumínio trocável próximo ao pH natural do solo. Em outras palavras, a saturação por alumínio se refere a proporção de alumínio trocável (Al^{+3}) em relação a soma de cátions básicos trocáveis mais os teores de alumínio, definida

como CTC efetiva, dada pela expressão $Al^{+3} = 100 \cdot Al^{+3}/S + Al^{+3}$. Pode -se afirmar que é o parâmetro que melhor expressa o potencial fitotóxico do alumínio.

Quando a saturação por alumínio for maior que 20%, há grande aumento da atividade do alumínio na solução e, para a maioria das espécies vegetais, o crescimento das raízes é negativamente afetado pelo excesso de alumínio trocável no solo, o que acaba dificultando a absorção de água e nutrientes para a planta. Assim, quanto mais ácido é o solo, maior o teor de alumínio trocável, maior a percentagem de saturação por alumínio, menores os teores de Ca, Mg, K e, consequentemente, menor será a soma de bases trocáveis. Desta forma, de acordo com Gonzalez Erico (1979), a percentagem de saturação de alumínio, é também uma boa maneira de se avaliar a acidez do solo.

Condé et al., (2013), em um trabalho para avaliar o efeito da aplicação de (ARS) sobre as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com doses crescentes (0, 50, 100, 150 $m^3 \cdot ha \cdot ano^{-1}$) de ARS em duas profundidades, observaram que houve aumento da saturação por alumínio na profundidade de 20 a 40 cm.

Contudo Ceretta et al., (2003), avaliando alterações químicas após a aplicação de DLS nas doses de 0, 20 e 40 $m^3 ha^{-1}$ em cinco profundidades, notaram que onde foi aplicado 20 $m^3 ha^{-1}$, a saturação por alumínio foi inferior aos teores de onde não foi aplicado o esterco. Apesar disso, abaixo de 5 cm de profundidade, os valores de saturação de alumínio se mantiveram altos, mesmo com a aplicação de esterco.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Estimar as modificações promovidas por DLS empregado como fertilizante nos parâmetros da acidez do solo no perfil até 60 cm de profundidade de Latossolo cultivado com sucessão milho-aveia, sob plantio direto, após 15 aplicações anuais de doses até $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de DLS.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar o efeito da aplicação continuada por 15 nos de doses anuais até $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de DLS na superfície de Latossolo cultivado com a sucessão milho-aveia sob plantio direto, na CTC efetiva e a pH 7, na acidez potencial do solo, no pH em água, nos teores trocáveis, na soma e saturação dos cátions básicos (Ca, Mg e K), no teores e saturação por Al.

Estimar o efeito da aplicação anual continuada por 15 nos de adubação mineral e de DLS complementado com adubação mineral na superfície de Latossolo cultivado com a sucessão milho-aveia sob plantio direto, na CTC efetiva e a pH 7, na acidez potencial do solo, no pH em água e em solução salina, nos teores trocáveis, na soma e saturação dos cátions básicos (Ca, Mg e K), no teores e saturação por Al.

Estimar o efeito da aplicação continuada por 15 nos de DLS na superfície de Latossolo cultivado com a sucessão milho-aveia sob plantio direto na movimentação de cátions em profundidade do solo.

4 HIPÓTESES

A aplicação anual continuada de DLS na superfície do solo em doses de 25 a 200 m³ não afeta o pH do solo mas aumenta soma de bases e diminui o teor de Al trocável.

A adubação anual continuada com adubo nitrogenado na forma de ureia distribuída na superfície do solo pode diminuir o seu pH e por consequência, aumentar a toxidez de Al no solo nas camadas até 10 cm.

O efeito da aplicação continuada por 15 anos do DLS em superfície do solo sob plantio direto tem abrangência em camadas até 10 cm.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em condições de campo no município de Campos Novos/SC durante o período de outubro de 2001 a junho de 2016. O local do experimento está situado em altitude de 908 m acima do nível do mar nas coordenadas 27°23'33" de latitude sul e 51°21'48" longitude oeste.

De acordo com a classificação de Köppen, apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb). As chuvas são distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.480 mm e 16°C, respectivamente (EPAGRI/CIRAM, 2013).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013). Os principais atributos químicos do solo analisados na implantação do experimento em 2001 estão descritos na (Tabela 1). Anteriormente ao experimento, foram realizados cultivos de plantas de lavoura como milho, soja, trigo, feijão e aveia em sistema de plantio direto nessa área. Na safra anterior a implantação do experimento 2000/2001, o produtor aplicou em área total, uma dose de 25 m³ ha⁻¹ de dejeto líquido de suíno.

O experimento foi implantado em novembro de 2001 com objetivo de avaliar os efeitos da adição continuada de dejeto líquido de suíno (DLS) em diversas doses, no rendimento da cultura, e nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

Tabela 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.

pH	SMP	V	Al ³	Ca ³	Mg ³	P ²	K ²	Argila	COT
		%	-----cmolc kg ⁻¹ -----		--mg kg ⁻¹ --		-----g kg ⁻¹ -----		
6,1	6,0	87	<0,01	8,2	4,6	6,4	97	680	25

Fonte: Moreira, 2004.

Legenda – pH: pH em água; SMP – pH pelo índice SMP; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; COT: carbono orgânico total. (1) determinado segundo Tedesco et al. (1995). (2) extrator Mehlich 1. (3) extrator KCl 1 M.

A área foi cultivada ao longo dos anos, com a sucessão de milho no verão e aveia no inverno no sistema de plantio direto, porém, a cada quatro anos era realizada uma rotação com nabo forrageiro (*Raphanus sativus*.L) para quebrar a sucessão anual de milho-aveia. No cultivo do milho, utilizou-se cultivares de híbrido simples de ciclo precoce e com alto potencial de resposta ao manejo adotado e a adubação. O espaçamento utilizado foi de 0,60 m entre fileiras, com 4,2 plantas m⁻¹ linear, totalizando um estande final de 70.000 plantas ha⁻¹. As cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.) e nabo forrageiro foram a aveia comum e IPR-116, semeados a lanço numa densidade de 120 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente.

A aplicação anual do DLS foi realizada geralmente na primeira ou segunda quinzena de outubro, e a semeadura do milho realizada em seguida, após sete a dez dias da aplicação do dejeto. A semeadura de milho foi realizada com semeadora de plantio direto constituída por disco de corte frontal com sulcador, seguida de disco duplo desencontrado. Para o cultivo de aveia branca, utilizou-se semeadura a lanço com incorporação por grade leve para não revolver o solo, e para a cultura do nabo, semeou-se a lanço sobre a palhada remanescente do milho antes de chuvas de alta intensidade.

5.2 TRATAMENTOS AVALIADOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos compreenderam na aplicação anual em superfície, de dejeto líquido de suíno (DLS) nas doses 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS 50), 100 (DLS 100) e 200 (DLS 200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com o dejeto (AM+DLS), na dose de 25 m³ ha⁻¹ de DLS mais adubação mineral solúvel para complementação das exigências da cultura, conforme recomendação da CQFS-RS/SC, (2004). O delineamento experimental utilizado, foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com 75,6 m² de área total e 58,3 m² de área útil.

O AM foi aplicado em doses equivalentes a 170, 130 e 80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Já o AM+DLS foi aplicado em doses conjuntas de 25 m³ ha⁻¹ de DLS, complementadas, na média das aplicações com doses de 75, 16 e 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, onde foi determinado a quantidade de nutriente adicionada pelo DLS e subtraído da recomendação para a cultura. Os dois últimos

tratamentos foram definidos com base em recomendações da CQFS-RS/SC (2004). No tratamento AM, o N foi aplicado em parcelas de 20% na base e o restante, foram divididos em duas coberturas realizadas no estádio V5 e V9 da cultura do milho, descrita por (RITCHIE et al., 1993). No tratamento AM+DLS, o N da fonte mineral solúvel foi totalmente aplicado em cobertura no primeiro estádio, comentado anteriormente. Os fertilizantes solúveis empregados como fontes de N, P e K foram ureia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente.

5.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO DLS E FORMA DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O DLS utilizado nos primeiros 8 anos de aplicações (Tabela 2) foi produzido por animais em terminação e nos últimos 7 anos, por fêmeas de recria. O material foi gerado e recolhido continuamente e armazenado em esterqueira descoberta por cerca de 120 dias antes da aplicação no solo. O DLS aplicado nos anos de 2013 e 2015 teve concentração média de 1807 e 1186 mg L⁻¹ de N-NH₄⁺ e, 39,1 e 4,2 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻, respectivamente.

Tabela 2- Teores de massa seca (MS), nitrogênio total (NT), fósforo (P) e potássio (K) do dejetos líquido de suíno gerado por animais em fase de terminação empregado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2013 num Latossolo Vermelho Distroférrico.

Aplicação mês/ano	MS	NT	P	K	Ca	Mg	COT
----- kg m ⁻³ -----							
10/2001	66	3,4	1,4	1,2	3,3	1,1	19,2
11/2002	26	2,6	1,0	1,2	1,8	0,7	11,2
10/2003	32	2,6	1,1	1,3	2,1	0,9	12,8
10/2004	43	3,7	1,4	1,5	2,8	1,2	16,6
10/2005	56	3,2	1,5	1,1	1,8	0,9	17,4
10/2006	46	4,6	2,8	1,7	1,7	0,9	35,6
10/2007	55	2,7	1,8	1,1	1,49	0,76	19,7
10/2008	68	2,4	0,4	1,3	0,58	0,24	23,9
10/2009	69	6,6	1,1	3,5	1,6	0,51	25,6
10/2010	41	4,1	2,1	2,2	-	-	23,2
10/2011	61	3,5	1,7	1,8	-	-	27,5
10/2012	43	3,8	1,4	1,9	-	-	-
10/2013	22	2,3	1,4	1,7	-	-	6,0
10/2014	28	2,8	1,5	1,8	-	-	-
10/2015	11	1,4	0,2	1,3	-	-	3,4
Média	44,5	3,3	1,4	1,6	1,9	0,8	18,6

Fonte: Sacomori, 2016

A aplicação do DLS foi realizada com distribuidor de esterco líquido da marca Mepel, composto por um tanque metálico, com capacidade de oito mil litros. Aplicou-se superficialmente ao solo com ajuda de mangueira de menor diâmetro para manter a pressão do sistema de bombeamento do equipamento constante e facilitar a aplicação homogênea em área total das parcelas.

A aplicações foram realizadas superficialmente na mesma época de aplicação do dejeto suíno, nos tratamentos que consistiam na aplicação de adubo mineral solúvel.

5.4 AMOSTRAGEM, ANÁLISES QUÍMICAS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram amostradas seis camadas de solo (0-2,5; 2,5-5;5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade), sendo que nas camadas até 20 cm as amostras de solo foram coletadas com pá de corte e abaixo dessa profundidade, com trado holandês, após a colheita da última safra do milho.

Os atributos químicos do solo avaliados foram: pH em H₂O, índice SMP, K e Na extraíveis por Mehlich 1, Ca, Mg e Al extraídos por KCl 1M, estes últimos para calcular a soma de bases, CTC efetiva, CTC pH7 e saturação por Al e H +Al estimado pelo índice SMP. A análise dos atributos químicos do solo foi realizada seguindo metodologias descritas por (TEDESCO et al., 1995). Os teores de Ca e Mg trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o teor de K e Na trocável por fotometria de chama.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão linear ou quadrática, de modo que o modelo escolhido foi aquele que melhor se ajustou aos dados obtidos. Quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro utilizando-se o programa estatístico SISVAR, para cada camada separadamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 pH EM ÁGUA E ÍNDICE SMP

Os valores de pH em água do solo variaram na camada de 2,5-5,0 cm apresentando o valor mínimo de 4,92 no tratamento adubo mineral (AM) e o valor máximo de 6,0 no tratamento testemunha (DLS0) das camadas de 0-2,5 e 20-40 cm. No entanto, somente foram observadas diferenças entre tratamentos nas três camadas mais superficiais.

O AM e o combinado (AM+DLS), diminuíram os valores de pH em água do solo nas três camadas superficiais em relação aos demais tratamentos que não aplicaram AM (Figura 1). Os valores de pH em água observados para estes tratamentos nas camadas superficiais, foram em média iguais a 5,0. Tal efeito se deve a utilização de fertilizantes nitrogenadas, neste caso, a ureia, que possui como fonte desse nutriente o N amídico que no solo passa rapidamente a N amoniacal. Em camadas superficiais, pelo processo de nitrificação, o N amoniacal (NH_4^+) se transforma em N nítrico (NO_3^-) na presença de oxigênio, sendo este um processo acidificante, podendo produzir um ou dois íons H^+ para cada molécula de amônio nitrificado (ERNANI, 2016). Este efeito acidificante do AM também foi observado por Rosado et al., (2014), em que o pH em água do solo diminuiu com o uso de ureia e sulfato de amônio como fontes nitrogenadas para adubação do capim-mombaça. Outro trabalho com resultados semelhantes na mesma área experimental é apresentado por Silva, (2009), onde os tratamentos AM e AM+DLS apresentaram valores menores que a testemunha e as doses de DLS (25, 50, 100 e 200 m^3) na camada 0-2 cm, e ainda, na camada 4-6 cm se observou que o pH em água do solo no tratamento AM foi menor do que nas doses de 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

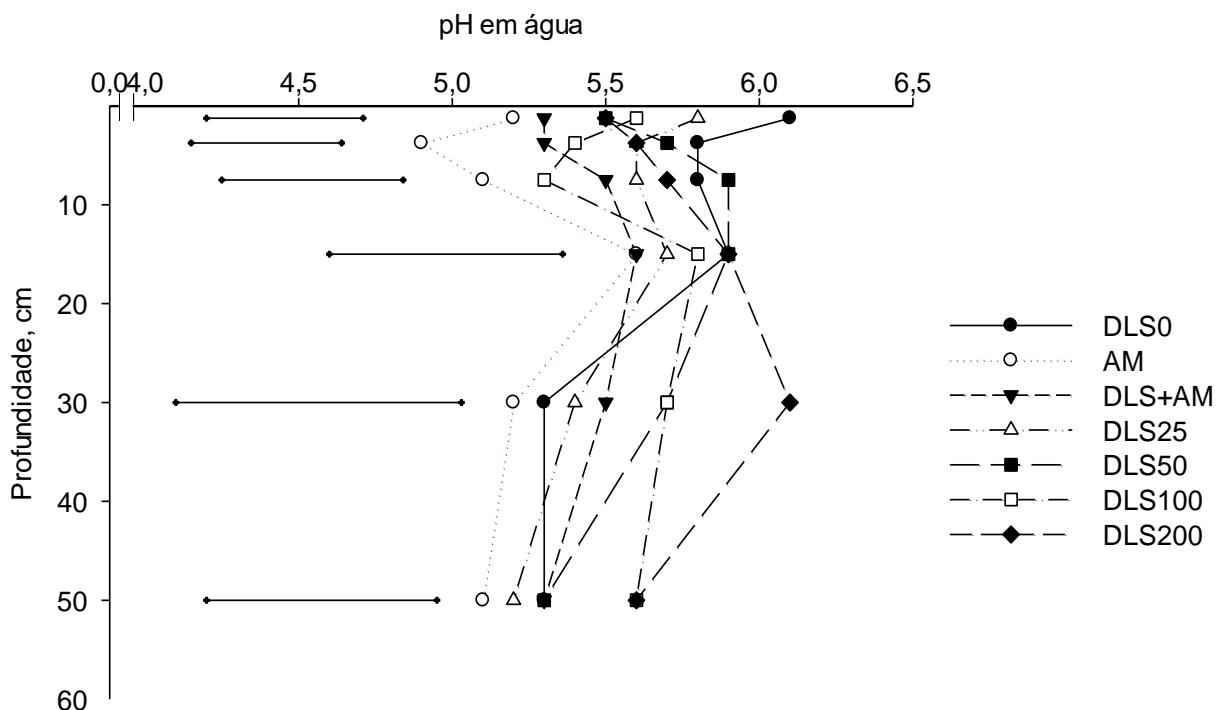
A maior dose de DLS (200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) também apresentou acidificação na camada de 0-2,5 cm em relação a testemunha, apresentando o valor de pH igual a 5,5. Isso, pode ser atribuído ao incremento de compostos orgânicos aplicados com a elevada dose de DLS ao longo de 15 anos, somados aos resíduos adicionados pelo plantio direto, podendo favorecer o aumento de material orgânico na superfície do solo. Desse modo, esse material orgânico ao ser decomposto pelos organismos do solo, principalmente nas camadas superficiais, onde a atividade é maior, gera a acidificação do solo através da liberação de ácidos orgânicos (THOMAS; HARGROVE, 1984).

Ainda, segundo Scherer; Baldissera; Nessi (2007), aproximadamente 80 % do N contido no dejeto se encontram na forma amoniacal, que aplicado no solo sofre o processo de nitrificação (quando o N amoniacal (NH_4^+) é transformado em N nítrico (NO_3^-)). Ao fim deste processo, há liberação de íons H^+ no solo, pois quanto maior a dose de DLS, maior é a quantidade de N amoniacal adicionado e consequentemente maior será o seu efeito no processo de acidificação do solo.

Para Helyar (1991); Bolan et al., (1991), outra explicação para a acidificação da camada superficial do solo pela maior dose de DLS ($200\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), seria a lixiviação do N nitrificado, pois, para que o nitrato seja lixiviado, cátions básicos (K, Ca e Mg) são requeridos como íons acompanhantes, enquanto os prótons produzidos pela nitrificação do NH_4^+ , permanecem na camada superficial como fonte de acidez

No entanto, doses iguais e menores a $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ não foram diferentes da testemunha, ou seja, não apresentaram efeito acidificante ou alcalinizante no solo. Isso é possível, pois essas doses adicionaram menores quantidades de N amoniacal e matéria orgânica, dessa forma produzem menores quantidades de H^+ , advindos da nitrificação, e ácidos orgânicos provenientes da degradação dos resíduos (SIMONETE et al., 2003). Já nas camadas 2,5-5 e 5-10 cm, todas doses de dejeto foram iguais ao tratamento sem fertilizante, pois em camadas mais profundas, os efeitos do DLS no pH em água são menos visualizados, uma vez que a atividade microbiana do solo é reduzida em profundidades maiores devido a menor disponibilidade de matéria orgânica proveniente do DLS.

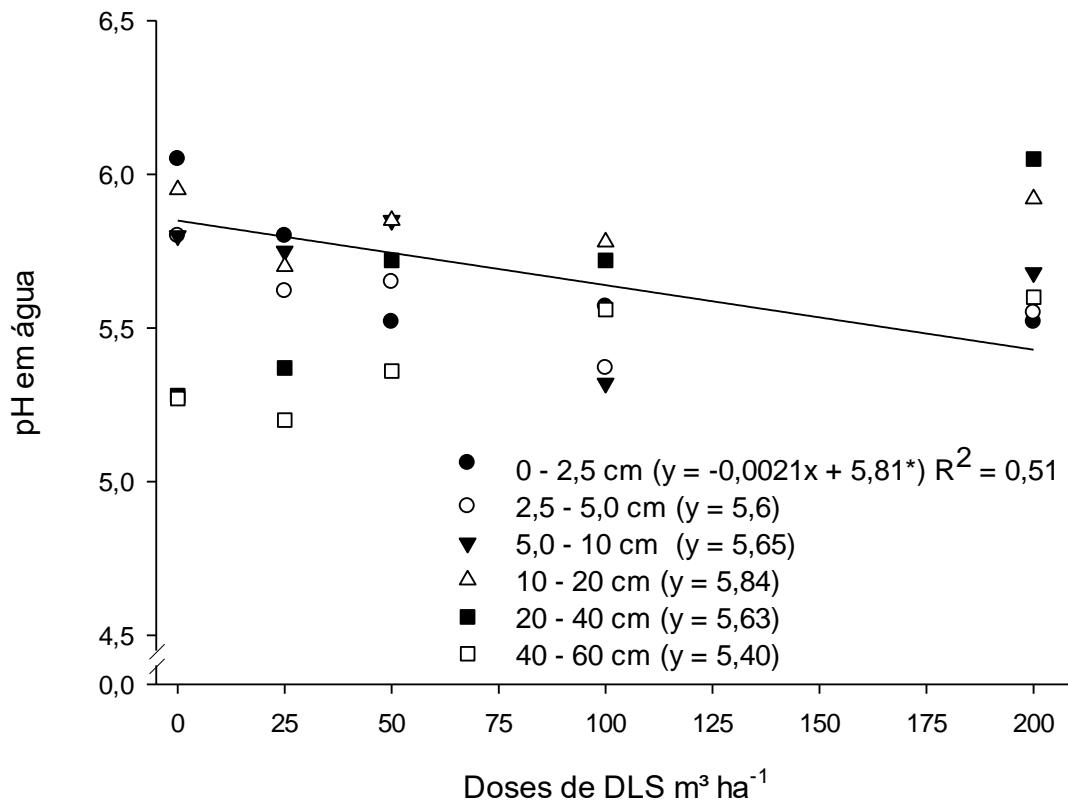
Figura 1 - Valores de pH do solo em H₂O nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Já no ajuste de regressão de pH em função das doses do DLS, o efeito encontrado foi na camada 0-2,5 cm onde houve decréscimo no pH em água do solo com o aumento das doses de DLS (Figura 2). Essa tendência pode ser atribuída à dissociação de prótons ligados aos grupos funcionais COOH e OH da matéria orgânica adicionada com o DLS (COSTA, et al., 2014). Ao mesmo tempo, a decomposição do DLS pela atividade microbiana, tem sido apontada como a principal causa da acidificação dos solos visto que a mineralização do C, N e S libera prótons para o meio (SOUZA et al., 2007). Além disso a presença dominante do N na forma amoniacal no dejeto promove a diminuição do pH devido a nitrificação do NH₄⁺ no solo (OLIVEIRA, 1993).

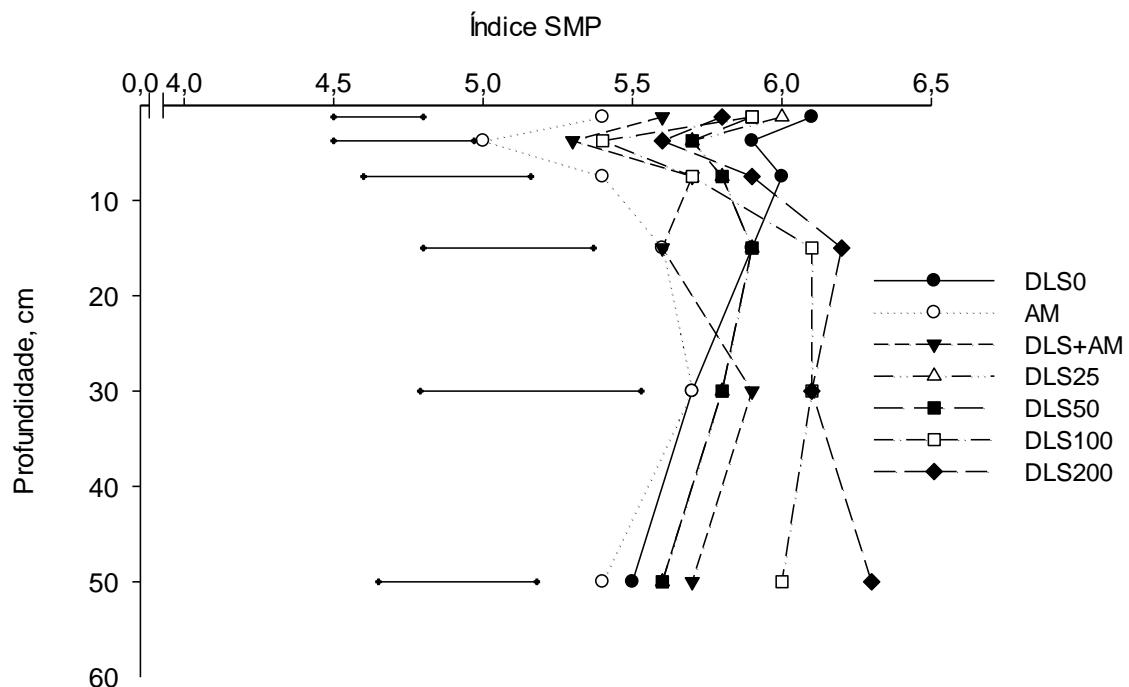
Figura 2 – Valores de pH do solo em H₂O nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS aplicadas anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Outro atributo químico relacionado ao pH do solo avaliado foi o índice SMP (Figura 3). Na camada de 0-2,5 cm, os tratamentos que receberam adubação com DLS apresentaram valores iguais ao observados na testemunha, ou seja, o DLS nas diversas doses aplicadas não influenciou no índice SMP, pois os valores deste índice são menos variáveis em relação ao pH em água devido aos seus presentes componentes (trietalonamina, cromato de potássio, acetato de cálcio e cloreto de cálcio).

Figura 3 - Valores de índice SMP do solo em H₂O nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Porém, na camada de 0-2,5 cm, o tratamento AM teve o menor valor observado em relação aos demais tratamentos. Isso pode estar relacionado ao processo de nitrificação proveniente da ureia aplicada superficialmente, devido a liberação de íons H⁺ para a solução do solo (MANTOVANI et al., 2007). Na prática isto influencia na dose de calcário a ser aplicado ao longo dos anos, já que nos estados do RS e SC, a necessidade de calcário de um solo para atingir valores de referência de 5,5; 6,0 ou 6,5 é preferencialmente estimada pelo índice SMP (CQFS-RS/SC, 2016). Dessa maneira quanto menor o índice SMP, maior será a necessidade de calcário e maior será o custo de produção.

Nas camadas subsuperficiais, principalmente aquelas abaixo de 40 cm o tratamento com a maior dose de DLS, ou seja, DLS200 apresentou valores maiores que aqueles encontrados na testemunha. Esses resultados podem ser em função da

lixiviação de cátions básicos, pois de acordo com Lourenzi et al., (2013); Cassol et al. (2012), quando se utilizam fontes orgânicas em altas doses como fertilizantes, acaba resultando em excedentes desses cátions (K, Ca, Mg), em relação à CTC existente nas camadas superficiais do solo, dessa forma, podendo levar a perdas expressivas desses nutrientes por lixiviação (SACOMORI et al, 2016) para camadas inferiores do solo. A formação de ânions orgânicos solúveis, que podem formar complexos e, ou pares iônicos solúveis, com Ca e Mg, resultantes da decomposição da matéria orgânica do DLS e, principalmente, da fitomassa vegetal também pode favorecer a movimentação desses cátions em profundidade.

6.2 ALUMÍNIO TROCÁVEL

O teor de alumínio trocável (Al^{3+}) foi maior no tratamento AM até 10 cm de profundidade, chegando ao valor máximo de $0,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já o menor valor de Al^{3+} encontrado foi de $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 10-20 cm no tratamento DLS200.

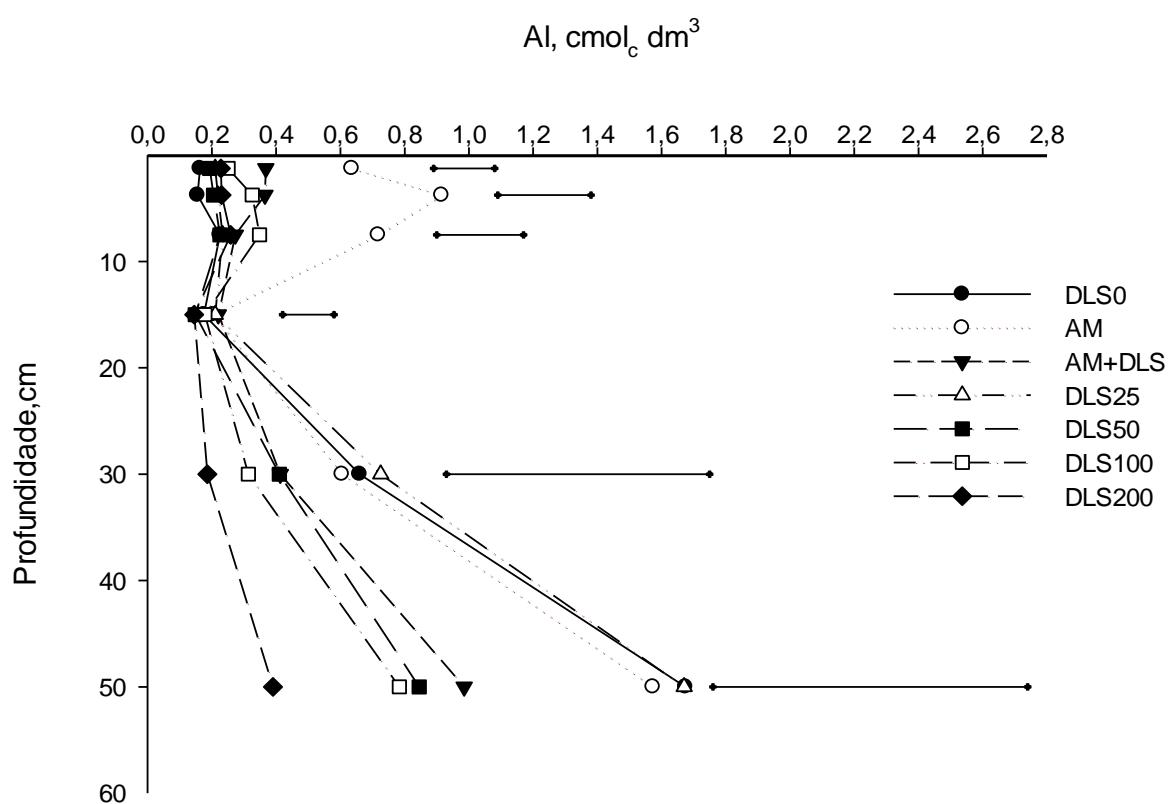
Na camada de 0-2,5 cm, os tratamentos AM e AM+DLS promoveram valores superiores no teor de Al^{3+} em relação a testemunha (Figura 4). A concentração do alumínio na solução do solo, é diretamente proporcional à concentração do H^+ , ou seja, diminui com o aumento do pH. Assim, conclui-se que o maior teor de Al^{3+} para o adubo mineral e combinado em comparação com a testemunha é devido a diminuição do pH em água ao longo do tempo. Neste caso, a acidificação do solo, decorrente das sucessivas aplicações de ureia como fonte de N (CASSOL et al., 2011).

No entanto, o tratamento AM+DLS diferiu em relação ao AM, apresentando valores menores de Al^{3+} na profundidade de até 10 cm, isso pode ser explicado pela presença do adubo orgânico (DLS) no tratamento combinado. Tem sido encontrado na literatura que a adição de grandes quantidades de dejetos animais associada com a decomposição de restos vegetais deixados na superfície do solo sob plantio direto (Bayer & Bertol, 1999), promove a formação de complexo organo-metálico, diminuindo a concentração do Al^{3+} no solo (SHEN E SHEN, 2001; LOURENZI et al., 2011; CERETTA et al., 2003).

Desse modo, sugere-se que a aplicação constante de DLS ao longo de 15 anos pode ter influenciado, principalmente no incremento de compostos orgânicos de baixo peso molecular no solo, de tal modo, que os valores de Al^{3+} fossem reduzidos. Esse efeito é decorrente da formação de complexos de Al com a matéria orgânica do

fertilizante DLS, ou com subprodutos da sua degradação no solo. Esses efeitos corroboram com Ernani; Gianello (1983) e Cassol et al., (2005), que observaram a redução do Al trocável no solo após a aplicação de resíduos orgânicos.

Figura 4 - Teores de alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Na camada de 40-60 cm a única diferença encontrada foi na maior dose de dejeto (DLS200) em relação aos outros tratamentos, onde se observou o menor teor de Al^{3+} . Isso corrobora a tese de que elevadas doses de DLS podem promover a redução da atividade do Al^{3+} pela formação de complexo organometálico que se deslocam em profundidade no solo, uma vez que não houve o aumento do pH nesta camada do solo, como foi observado na (Figura 1). Esses complexos podem ser

formados em ácidos, ou outros compostos orgânicos solúveis, que provavelmente derivaram da decomposição do DLS e se deslocaram no perfil (CASSOL et al. 2012). Outro efeito, do menor teor de Al pela dose de 200 m³ ha⁻¹ pode ser explicado pela alta saturação de bases encontrada neste tratamento da última camada (figura 4). Indicando que doses muito altas de DLS promovem a lixiviação de cátions básicos (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) no perfil do solo, o que é devido principalmente pela adição de quantidades excessivas de DLS em relação às cargas existentes no solo (SACOMORI et al., 2016).

Uma vez que o Al³⁺ é tóxico as plantas e prejudicial ao crescimento radicular, o maior ponto positivo na consequência do efeito do DLS na complexação do Al³⁺ em profundidade, é o benefício para o desenvolvimento e crescimento radicular das plantas. Assim, raízes se desenvolvem em maiores profundidades no perfil do solo e com isso, conseguem absorver maiores quantidades de água e nutrientes, principalmente em épocas de estiagem.

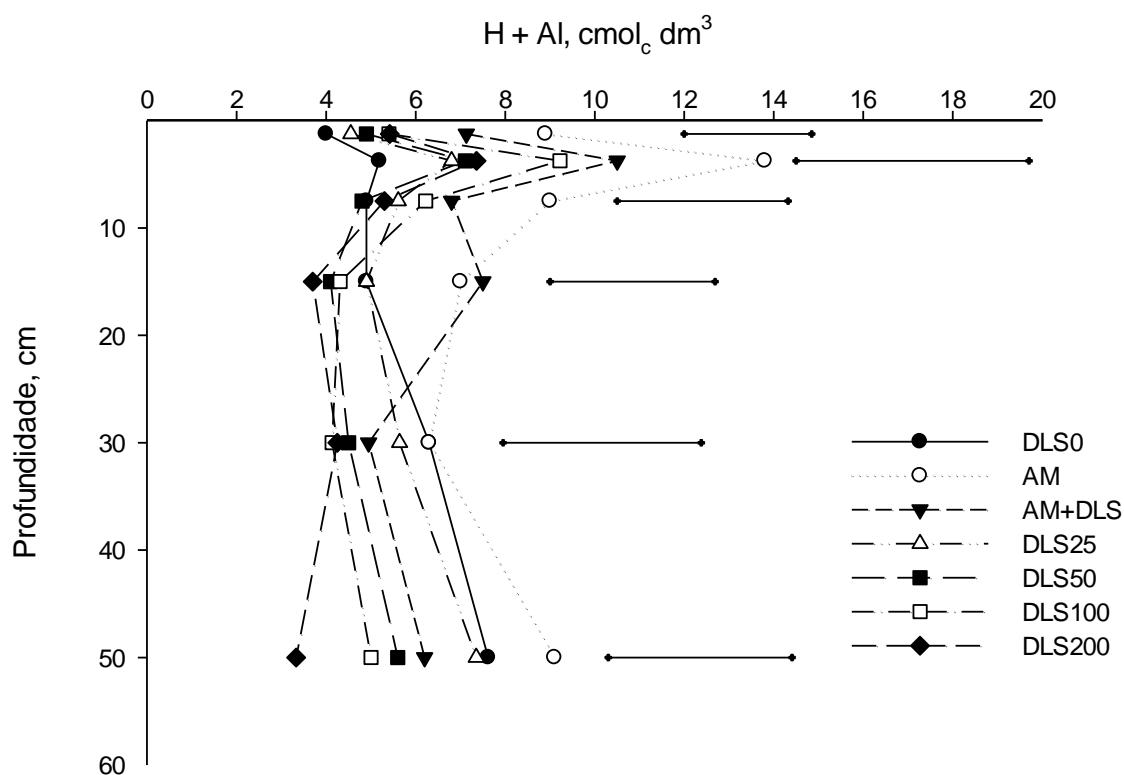
6.3 ACIDEZ POTENCIAL

Para os valores de acidez potencial (H + Al), não foram observadas diferenças entre os tratamentos DLS25, DLS50, DLS100 e DLS200 e destes em relação a testemunha, na camada até 20 cm (Figura 5). Esses resultados foram similares aos encontrados por Brunetto et al., (2012), que, ao utilizar doses de cama sobreposta de dejeto líquido de suínos em um Argissolo Vermelho, também não constataram efeito das aplicações dos tratamentos sobre os teores de H + Al no solo, nas profundidades de até 10 cm. Lourenzzi et al., (2016), também não observaram diferenças para acidez potencial até a profundidade de 8 cm em um Latossolo Vermelho distroférreico com doses de composto orgânico derivado de DLS, durante seis anos de aplicação, com sucessão de culturas e avaliando profundidades do solo (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-40 e 40-60 cm).

No entanto, o tratamento contendo somente adição de adubo mineral, de modo geral, apresentou os maiores valores de H + Al em relação à testemunha e as doses de DLS nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm de profundidade. O tratamento combinado (AM+DLS) apresentou valor de acidez potencial maior que a testemunha, mas não diferiu dos tratamentos com doses de DLS até a camada de 5 cm. Assim, observa-se

que o AM aumentou a acidez potencial, porém, quando combinado com DLS, esse efeito é amenizado.

Figura 5- Valores de acidez potencial ($H + Al$) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $m^3 ha^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



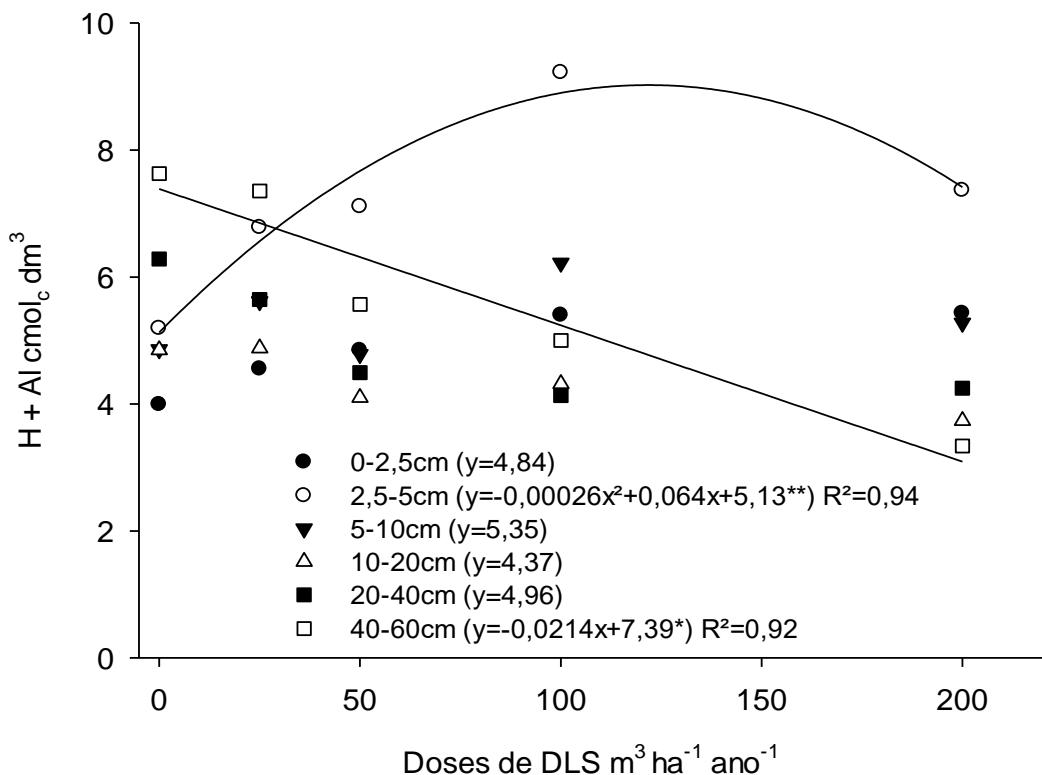
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para Adams e Martin (1984), a acidez depende de uma série de fatores, dos quais envolvem os efeitos das características do solo, do sistema de cultivo, do modo de aplicação, da dose e forma do nitrogênio adicionado ao solo. Como já citado, pode-se afirmar que no caso deste estudo, o efeito do AM na acidez é devido a aplicação de altas doses de fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos, no qual é o caso da ureia, que teve efeito acidificante na camada superficial (Figura 1), diminuindo os valores de pH, e, por consequência, aumentando os teores H^+ e o Al^{3+} (figura 4) no

solo. Na camada mais profunda, 40-60 cm, o tratamento que recebeu a maior dose de DLS (DLS200), apresentou o menor valor para acidez potencial. Essa redução em profundidade, pode ser atribuído a maior disponibilidade de Ca, Mg e K, pela ocorrência da lixiviação ao longo do perfil. Em um estudo realizado por Lorensini et al., (2008), foi verificada elevada lixiviação desses nutrientes, quando se utilizaram doses de 20 e 80 $m^3 ha^{-1}$ de DLS. Segundo os autores, esse fato ocorre quando as quantidades de nutrientes aplicadas são maiores que a capacidade de adsorção do solo e da capacidade das plantas em absorverem esses nutrientes. Outro motivo pelo menor valor de acidez potencial encontrado no DLS200 na última camada, pode ser atribuído a complexação do Al^{3+} que provavelmente ocorreu no perfil do solo neste tratamento (Figura 4).

Com relação ao efeito das doses de DLS na acidez potencial, através do ajuste de regressão, verificou-se que houve resposta na camada 2,5-5 cm, seguindo uma equação quadrática. Os dados mostram que até a dose de 100 $m^3 ha^{-1}$ houve aumento da acidez potencial, depois para o tratamento que recebeu a maior dose, 200 $m^3 ha^{-1}$ de DLS, pode-se observar redução da acidez potencial para a mesma profundidade. Consequentemente, o acúmulo de matéria orgânica em superfície após 15 anos de aplicação de DLS em doses elevadas associado com o sistema de manejo plantio direto (SPD), geram condições propícias para a complexação do íon Al^{3+} no solo (WESSELINK et al., 1996), e com isso pode reduzir a acidez potencial na maior dose. Já para a regressão na profundidade de 40-60 cm a resposta foi linear decrescente, mostrando que houve redução da acidez potencial de acordo com o aumento de doses, efeito que se explica através do processo de lixiviação de cátions básicos para a subsuperfície e também pela maior complexação de Al^{3+} em profundidade, conforme mencionado anteriormente.

Figura 6 -Valores H + Al nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

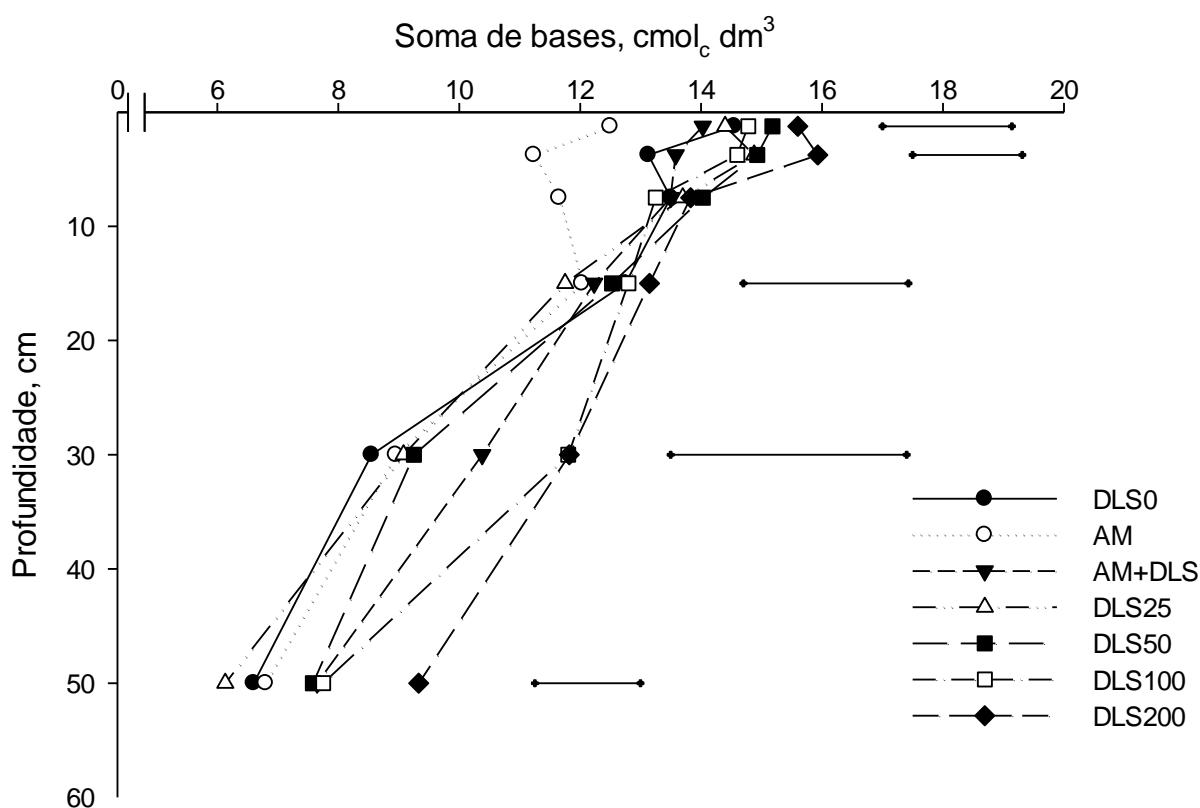
6.4 SOMA DE BASES E SATURAÇÃO POR BASES

Para soma de bases, o maior valor encontrado foi de 15,9 cmol_c dm⁻³ na camada de 2,5-5,0 cm no tratamento DLS200, já os valores mínimos foram 6,13 cmol_c dm⁻³, 6,60 cmol_c dm⁻³ e 6,80 cmol_c dm⁻³ para os tratamentos DLS25, DLS0 e AM, respectivamente, na camada de 40-60 cm.

Nos tratamentos que receberam doses de DLS de 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ os valores de somas de bases foram maiores em relação ao tratamento AM nas camadas com profundidade de até 5 cm (Figura 7). Como a soma de bases é determinada pela soma dos cátions trocáveis, ou seja, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺, a adição desses cátions no solo, onde em boa parte são atraídos e armazenados nas cargas negativas que compõem a

CTC, aumenta a soma de bases. Assim, como o DLS possui teores significativos desses nutrientes em sua composição, ao ser adicionados ao solo sucessivamente por 15 anos aumenta a soma de bases em relação ao adubo mineral, que possui menores teores de Ca e Mg.

Figura 7- Valores de soma de bases nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O DLS na dose de 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ apresentou maior soma de bases em relação a testemunha na camada 2,5-5 cm. Esse pequeno incremento, pode ser atribuído, às características do dejeto utilizado e às elevadas quantidades de cátions básicos adicionados no solo ao longo de 15 anos de aplicação de doses sucessivas desse material. Segundo Chantigny et al., (2001), esse tipo de resíduo pode também conter

substâncias alcalinas e presença de carbonatos, que são facilmente dissociados em solos ácidos.

Na camada 40-60 cm, observou-se acréscimo na soma de bases para o tratamento que recebeu a dose de 200 m³ ha⁻¹. O aumento para soma de bases em profundidade, ocorre na maioria dos casos pela lixiviação de cátions básicos no perfil do solo após sucessivas aplicações de altas doses de DLS ao longo de 15 anos.

Para saturação por bases, não houve efeito do DLS em relação a testemunha nas camadas de 0-2,5 cm, 2,5-5 cm e 5-10 cm (Figura 8). Esse resultado pode ser atribuído aos mesmos fatores que conferiram estabilidade ao pH do solo, já que este também não sofreu alteração após a aplicação das doses de DLS.

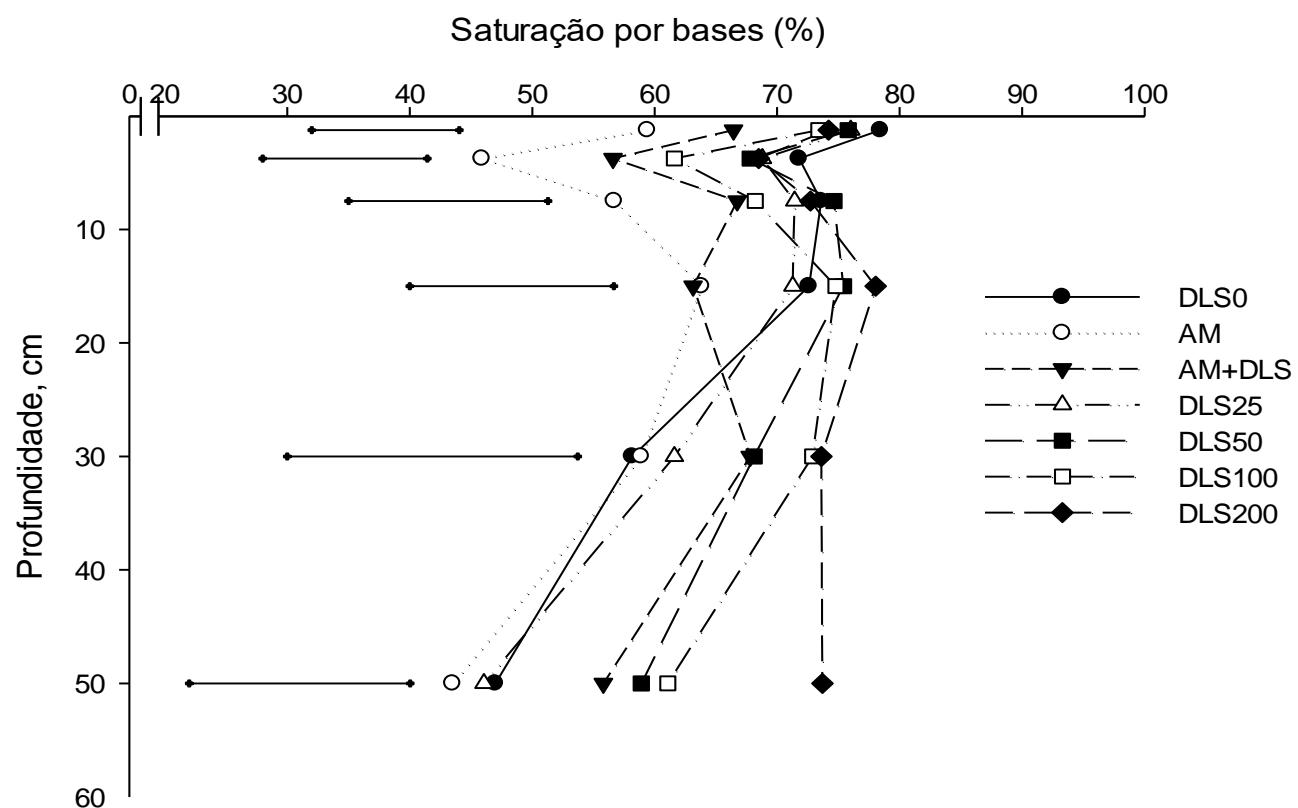
No entanto, os tratamentos que receberam adubo mineral, apresentaram decréscimo nos valores de saturação por bases em relação aos outros tratamentos para as mesmas profundidades. O solo que apresenta baixo V%, significa que existe maior adsorção de Al³⁺ e H⁺ e quantidades menores de cátions básicos (Ca, Mg e K) adsorvidos nos coloides do solo. Como supracitado, a aplicação do fertilizante mineral amoniacal promoveu reação ácida nas camadas superficiais do solo, diminuindo o pH, e por consequência, reduzindo a quantidade de cargas e, ou sítios de adsorção do solo disponíveis para os cátions básicos, pois, com a acidificação, parte desses sítios serão saturados majoritariamente com Al³⁺ e H⁺. O efeito da adição de fertilizante amoniacal na acidez do solo e na saturação por bases é ainda mais pronunciado quando o solo está sob longos períodos de cultivos sem a reaplicação de calcário (BLEVINS et al., 1983), como é o caso deste experimento.

A saturação por bases a ser atingida em solo cultivado com lavouras sob sistema plantio direto deve ser maior ou igual a 65%, conforme CQFS-RS/SC (2016). No entanto, isso somente foi observado na camada de 40-60 cm, onde chegou a 73,71%, no tratamento em que foi aplicado a dose de 200 m³ ha⁻¹ (DLS200). Isso pode ser explicado pela lixiviação de cátions básicos, pois o aumento da concentração de nutrientes por sucessivas aplicações de altas doses de DLS pode aumentar a transferência desses elementos por lixiviação no perfil do solo (CERETTA et al., 2010; LOURENZI et al., 2013; SACOMORI et al., 2016). Isso possibilitará o melhoramento do ambiente da subsuperfície, conferindo melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas, ocasionando a exploração de maior volume de solo com maior eficiência no uso dos fertilizantes adicionados, bem como a quantidade de água armazenada no perfil.

Em solos tropicais do cerrado, tem se observado a resposta ao gesso agrícola como melhorador do ambiente radicular em profundidade para a maioria das culturas anuais (SOUSA, 1995). No caso deste estudo, o DLS aplicado ao longo do tempo em elevadas doses, teve um efeito similar ao gesso.

Esses resultados corroboram com Homem et al. (2014), que em um trabalho, cultivando duas espécies para pastagem e avaliando efeitos de doses de água resíduária da suinocultura ($0, 50, 100, 150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}$) em duas profundidades 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m nos tempos de coleta de amostras de solo de 0, 82 e 138 dias após a aplicação, também constataram o aumento nos teores de saturação por bases aos 82 dias nas respectivas profundidades.

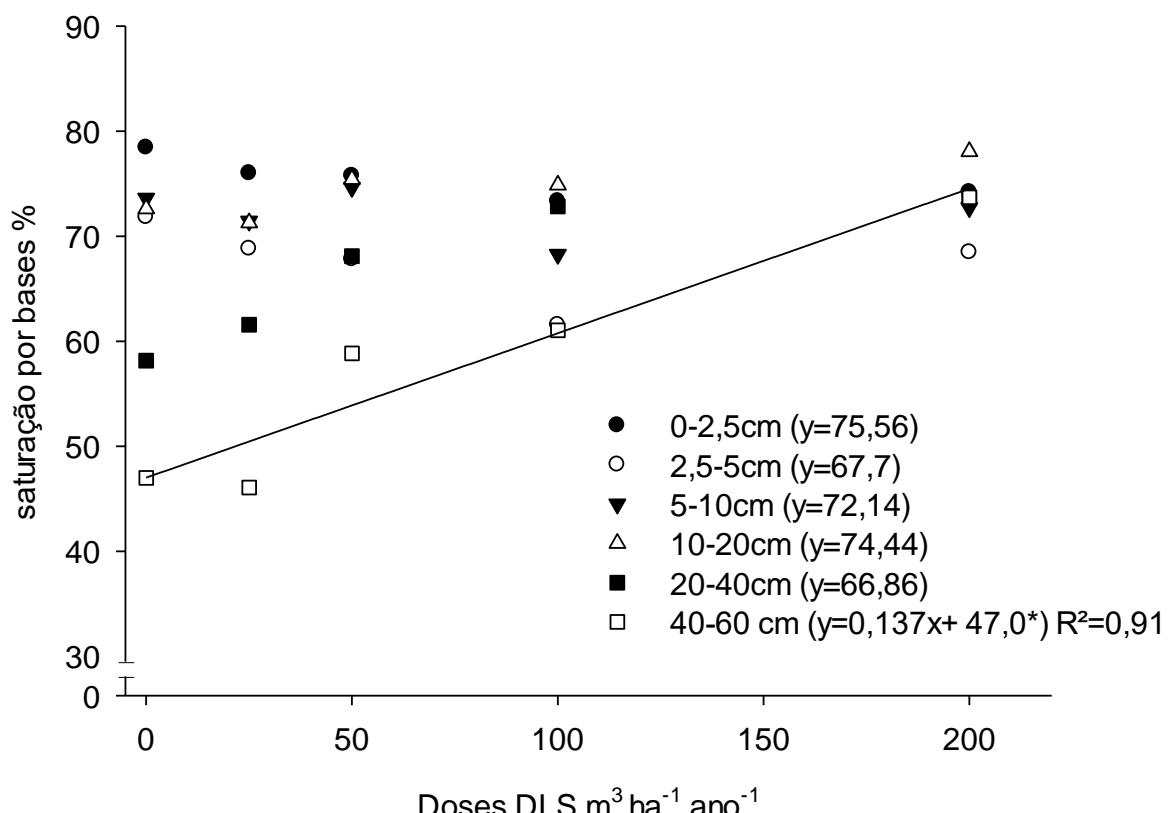
Figura 8- Valores de saturação por bases (V%) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Os valores de saturação por bases apresentaram resposta linear às doses de DLS na profundidade de 40-60 cm, atingindo o máximo valor no tratamento DLS200, que é a maior dose de dejeto. Esse incremento, pode ser em virtude da composição não balanceada de nutrientes do DLS, isso geralmente implica na adição de nutrientes em quantidades maiores do que as requeridas pelas plantas nas camadas superficiais (SEGANFREDO, 1999). Por consequência, os cátions excedentes são propensos à lixiviação para camadas mais profundas, aumentando a saturação por bases em profundidade, como ocorreu neste estudo. Entre esses cátions, destacam-se o Ca e Mg presentes na composição dos dejetos, que se acumulam no solo e afetam os atributos químicos relacionadas à acidez, como por exemplo, a saturação por bases, devido a aplicação de doses elevadas de DLS ao longo dos anos (LOURENZI et al., 2011).

Figura 9 -Valores saturação por bases (V%) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

6.5 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS

A CTC efetiva se refere a quantidade de cátions trocáveis do solo, nas condições da amostra, com pH normal. Seu cálculo é importante para avaliação de alguns parâmetros de fertilidade (Rei et al. 2009). Como este solo possui em média pH menor que 5,5, o maior valor encontrado de CTC efetiva foi de 16,2 cmol_c dm⁻³ na camada de 2,5-5 cm para o tratamento DLS200 e o menor valor foi de 7,80 cmol_c dm⁻³ para o tratamento DLS 25 na camada de 40-60 cm.

Na camada de 0-5 cm, o DLS 200 apresentou valores de CTC efetiva superiores ao tratamento AM (Figura 10). Quando um solo tem alto teor de matéria orgânica, geralmente apresentará altos valores de CTC. Assim, em solo fertilizado por 15 anos com altas doses de dejeto líquido suíno, quando a maior parte da matéria orgânica já se apresenta na forma humificada, trará maiores benefícios para o solo, aumentando a capacidade de troca de cátions do solo (RONQUIN, 2010).

O menor valor de CTC efetiva para o tratamento adubo mineral se deve à diminuição das cargas negativas resultante da acidificação observada o solo, indicando que o solo fica com menor capacidade para reter cátions em forma trocável comparado ao tratamento DLS 200. Nesse caso, não se deve aplicar grandes quantidades de fontes solúveis de K de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas de nutrientes por lixiviação.

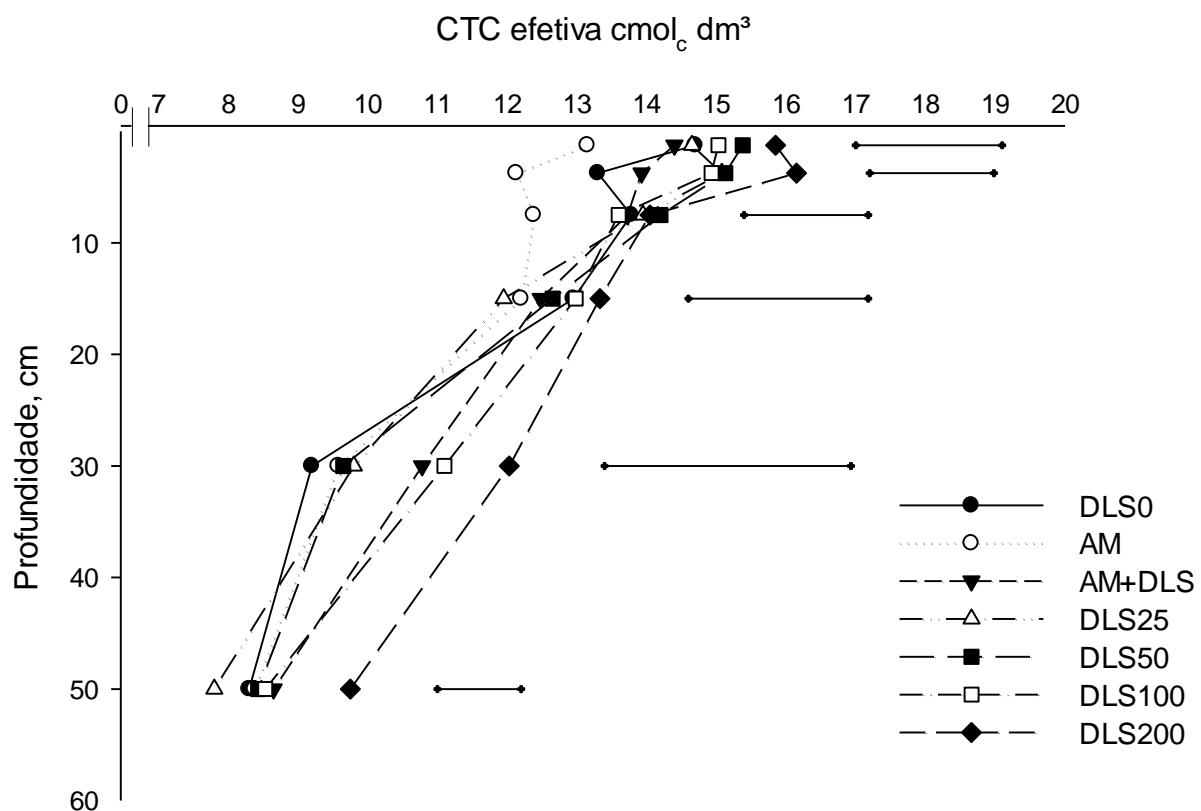
Para a camada de 40-60 cm, no geral, os valores encontrados nos tratamentos foram iguais a testemunha, exceto o tratamento DLS200, o qual apresentou valores mais elevados do que os encontrados para a testemunha. Dessa forma, observa-se o efeito alcalinizante do DLS em profundidade, o que se explica pela movimentação dos cátions básicos acompanhados de ânions orgânicos, que podem captar prótons nas camadas inferiores. Assim, quando há quantidades excedentes de cátions básicos devido as sucessivas aplicações de elevadas doses de DLS, pode ocorrer a lixiviação desses elementos das camadas superficiais do solo e sua adsorção, em parte, nas camadas subsuperficiais (SACOMORI et al., 2016).

Esses resultados se assemelham aos observados por Brunetto et al., (2012), onde os maiores valores de CTC efetiva, foram encontrados nas camadas da superfície do solo (0-2,5 e 2,5-5 cm), principalmente no tratamento (DLS200) que recebeu a maior dose de DLS. Além disso, a uma profundidade de 30 cm, os valores

mais altos de CTC efetiva, foram observados no tratamento que recebeu a maior dose de DLS ($180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Em outra pesquisa, realizada por Rei et al., (2009), onde o objetivo foi avaliar os atributos químicos do solo mediante a aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto doméstico, foi verificado que nos tratamentos que receberam o lodo de esgoto, os resultados obtidos evidenciaram que a CTC efetiva do solo aumentou com a adição do lodo, demonstrando que, a adição desse tipo de resíduo mostra-se interessante para a elevação da CTC efetiva.

Figura 10- Valores de CTC efetiva nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



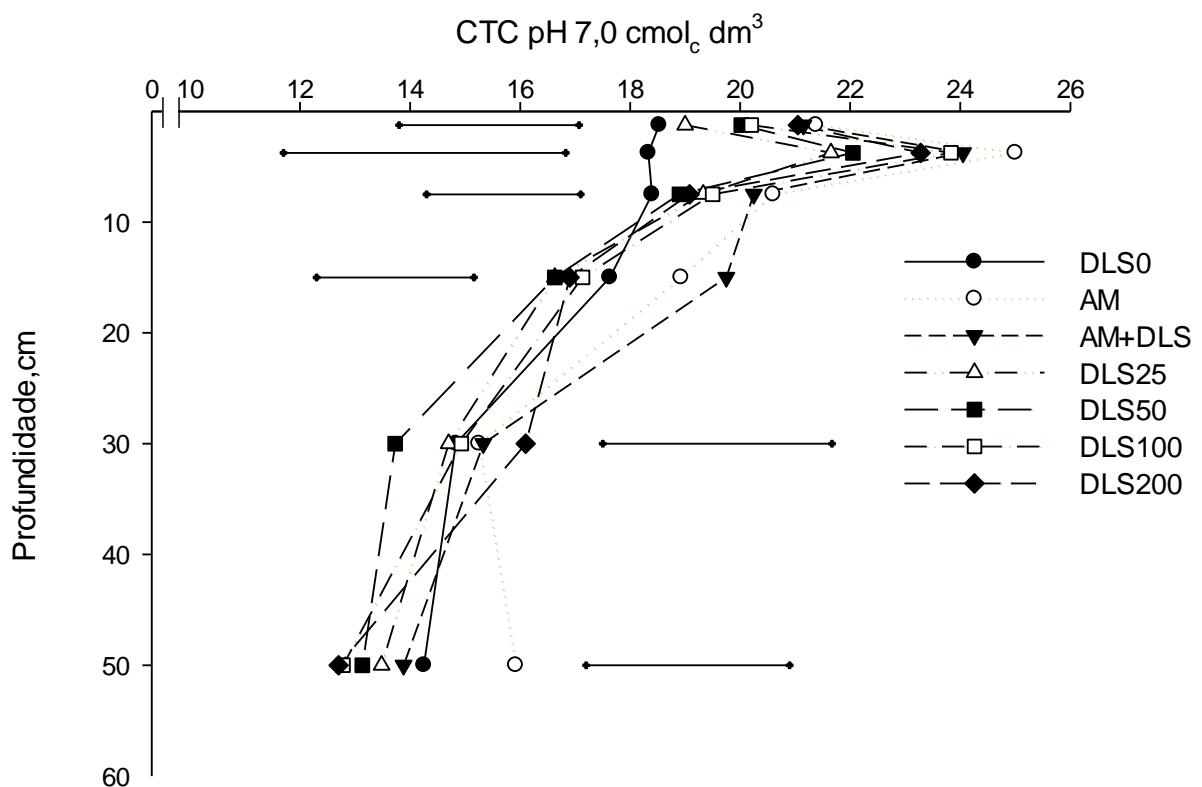
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A CTC pH 7,0 reflete a capacidade do solo em reter cátions na condição de pH neutro, sendo de grande importância para o manejo da fertilidade do solo. Houve incremento da capacidade de troca de cátions na camada de 2,5-5 cm, com os tratamentos AM e AM+DLS que apresentaram valores maiores em relação a testemunha (Figura 11). Considerou-se que o valor alto de CTC pH 7,0 para estes tratamentos está refletindo o alto valor de H + Al, que é estimada através do pH SMP. Pois o uso de fertilizantes amoniacais, no caso a ureia, onde ocorrem reações de acidificação, como citado anteriormente (cada molécula de amônio que transformada em nitrito gera dois íons H^+), então com o aumento do H^+ aumenta a acidez potencial e consequentemente a CTC pH 7,0 . Outro motivo para o maior valor desses tratamentos está ligado com os maiores valores de Al^{+3} , que é outro elemento que constitui no somatório da CTC potencial.

Valores maiores de CTC pH 7,0 nas camadas mais superficiais do solo eram esperados nos tratamentos com altas doses de DLS, pois promoveu adição de carbono orgânico e com isso incremento no teor de MOS (RHODEN et al., 2017), promovendo a geração novas cargas elétricas do tipo dependentes de pH. Todavia, pode haver a ocupação dos sítios de troca das argilas por radicais orgânicos adicionados pelos DLS e, portanto, não sendo medidos pelo procedimento de laboratório (RHODEN et al., 2017).

Já para a profundidade de 10-20 cm os valores de CTC pH 7,0 não diferiram estatisticamente da testemunha, pois a CTC no solo apresenta maiores valores na camada superficial, decrescendo com o aumento da profundidade. Assim, pode-se afirmar, que esses resultados mostram que o DLS não corrige a acidez do solo, mas evita com que ela aumente.

Figura 11- Valores de CTC a pH 7,0 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.

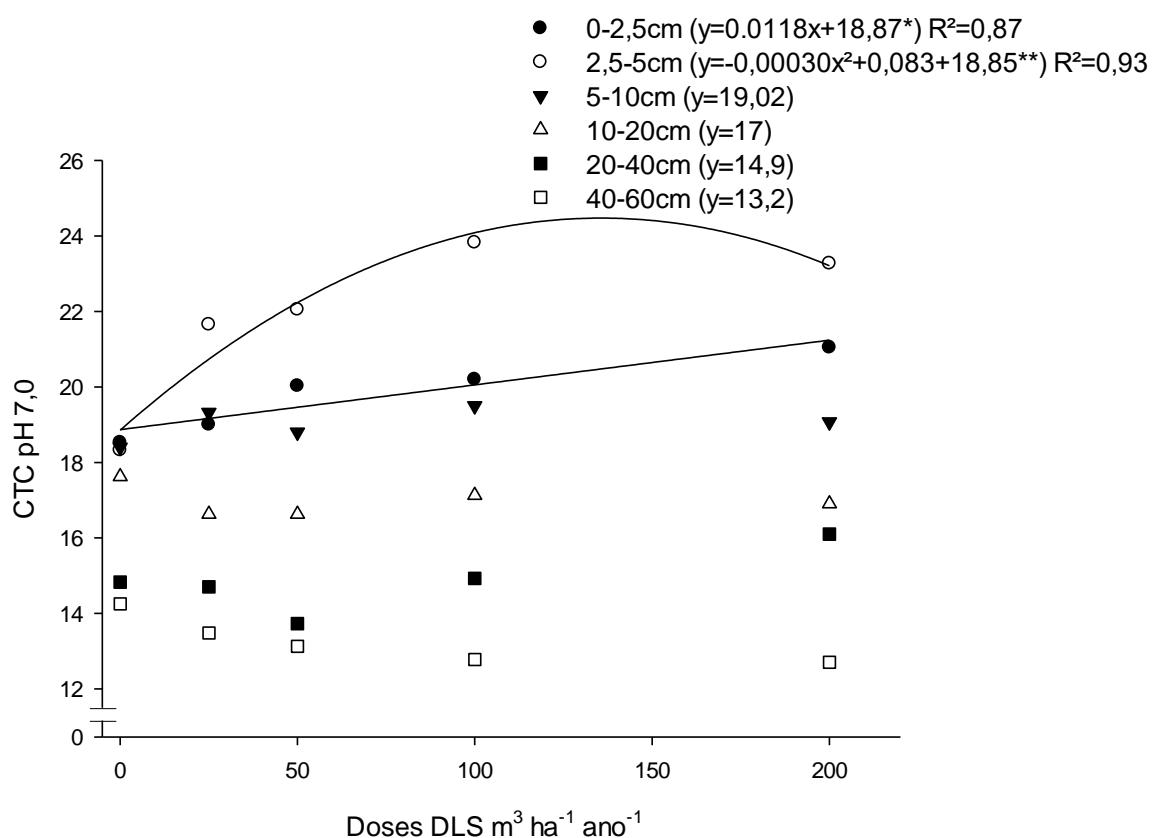


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em relação ao efeito das doses de DLS, verificou-se uma tendência linear para CTC_{pH 7,0} na camada de 0-2,5 cm, com aumento deste parâmetro, conforme o aumento das doses de DLS (Figura 12). Já para a profundidade de 2,5-5 cm a resposta da regressão foi uma equação quadrática, onde a CTC_{pH7,0} obteve aumento até a dose de 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, com decréscimo na dose de 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de DLS. Segundo Erthal et al., (2010), o aumento na CTC do solo com a aplicação de dejetos, é atribuído a alta concentração de íons e a presença de coloides orgânicos nos efluentes. Mas para Ciotta (2003) o incremento na CTC pode também estar relacionado com o aumento de matéria orgânica proveniente do material orgânico, principalmente na superfície do solo, onde permanecem os resíduos das culturas e o DLS. Além disso, a CTC está relacionada com o grau de decomposição da matéria orgânica,

principalmente em áreas cultivadas por longos períodos de tempo. A redução da CTC pH 7,0 no tratamento DLS200, pode ser atribuída a alterações na qualidade do material orgânico, bem como no pH, que também apresentou redução para o tratamento que recebeu a maior dose.

Figura 12 -Valores de CTC pH 7,0 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo em função de doses de DLS aplicadas em anualmente na sucessão milho-aveia em sistema plantio direto.



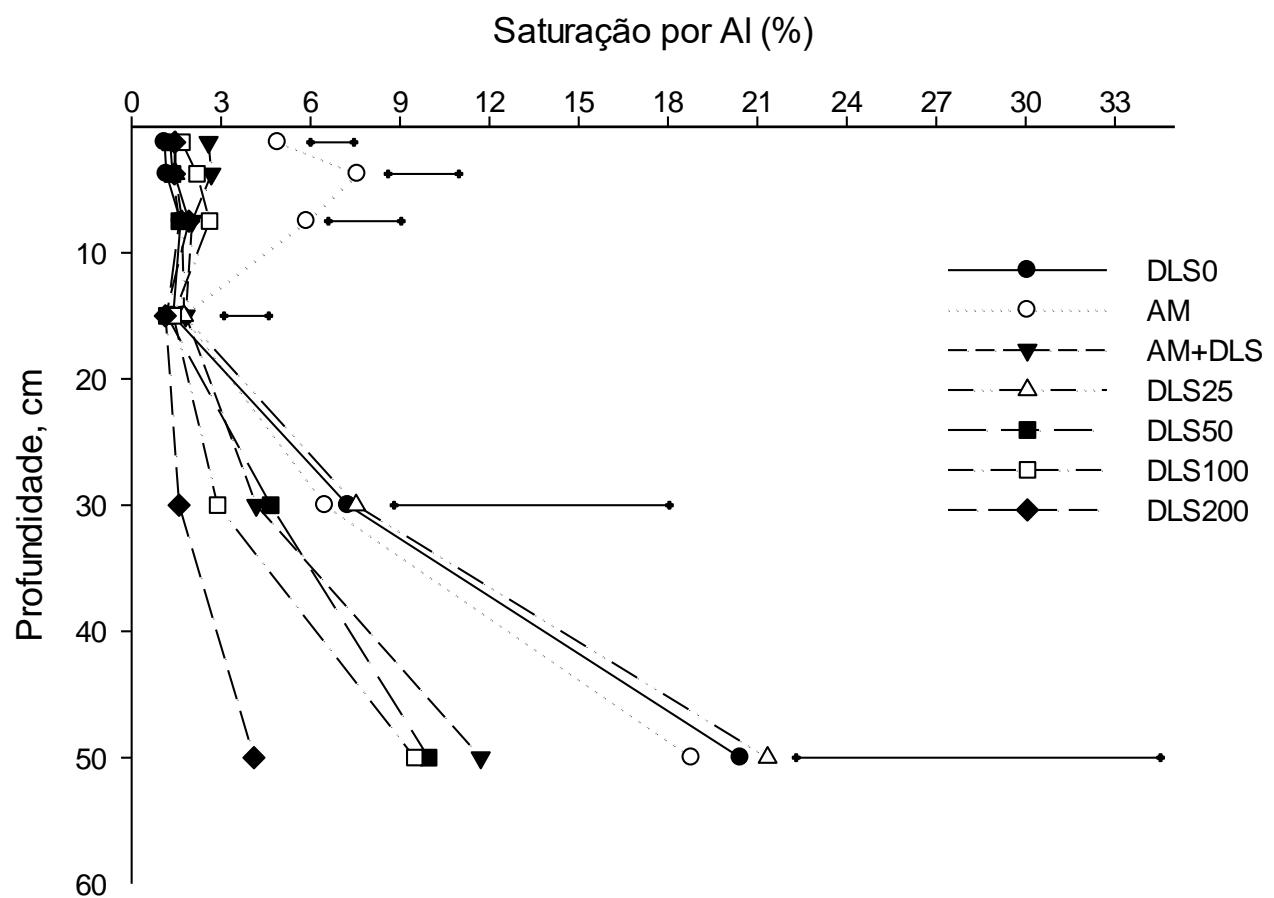
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

6.6 SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO

Os maiores valores encontrados de saturação por Al foram de 20,43% para o tratamento sem aplicação de dejeto líquido suíno (DLS 0) e de 21,34% no tratamento DLS25, ambos na profundidade de 40-60 cm, já o valor mínimo foi de 1,11% observado para o tratamento DLS0 na camada de 0-2,5cm.

Nos tratamentos que receberam doses de 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ não houve redução na saturação por alumínio em relação a testemunha, mas apresentaram valores menores em relação ao tratamento adubo mineral nas camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm (Figura 13), confirmando que a liberação de íons H⁺, através do processo de nitrificação da amônia, gera um processo de acidificação no solo, (FRANCHINI et al., 2000).

Figura 13- Valores saturação por alumínio (m%) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho distroférreico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejetos líquidos de suíno nas doses de 0 (DLS0), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha⁻¹, adubo mineral solúvel (AM) e dejetos líquidos de suíno combinado com adubo mineral solúvel (DLS+AM). O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em trabalho semelhante, para avaliar o efeito da aplicação de água residuária de suínos (ARS) sobre as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo

distrófico com doses crescentes (0, 50, 100, 150 m³.ha. Ano⁻¹) de ARS em duas profundidades, Condé et al., (2013), constataram que não houve diferença significativa na profundidade de 0-20 cm para saturação por alumínio.

Para a profundidade de 0-2,5 cm, o tratamento AM+DLS apresentou teores maiores em relação à testemunha, mas o teor de saturação por alumínio foi menor em relação ao tratamento AM. Esses resultados podem ser atribuídos a complexação do alumínio, devido a adição de matéria orgânica proveniente de resíduos e dejetos animais (MOKOLOBA E HAYNES, 2002). Segundo Cassol et al. (2012) essa complexação do alumínio pode ser em decorrência de compostos orgânicos solúveis provenientes da decomposição do DLS, já que não houve aumento significativo no pH do solo em estudo.

O tratamento DLS 200, que recebeu a maior dose de DLS, apresentou a menor saturação por alumínio em relação aos demais tratamentos para a profundidade de 40 a 60 cm. Isso pode ser devido ao fato que parte dos cátions básicos migrou para o interior do perfil do solo através do processo de lixiviação que movimenta esses cátions em profundidade (ERNANI, 2008). Esse processo foi maior principalmente pela adição de doses elevadas de DLS por 15 anos, especialmente por serem fontes que não aumentam o pH do solo das camadas superficiais, o que resulta em excedentes desses cátions que ficam propensos à lixiviação (CASSOL et al. 2011).

7. CONCLUSÃO

A aplicação de DLS na superfície de Latossolo vermelho em doses de 25 a 200 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ não altera o pH em H_2O , porém em relação ao AM, incrementa a soma de bases e reduz o teor de alumínio trocável (Al^{+3});

A adubação mineral incluindo N na forma de ureia em superfície causa efeito acidificante no solo, e por consequência aumenta o teor de Al^{+3} trocável;

O DLS aplicado em superfície, mostrou efeitos nos parâmetros da acidez na profundidade de 40 a 60 cm em doses de 200 $m^3 ha^{-1}$, atribuído ao efeito de movimentação de bases.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. **Nitrogen in crop production**. Madison, American Society of Agronomy, 1984. p. 417-426.

ADELI, A. et al. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Science**, v. 173, n. 3, p. 223-235, march 2008.

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejeto de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 18, n. 7, p. 720-726, 2014.

BARILLI, J. **Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2005, 120 p. (Tese de doutorado).

BERTSCH, P.M.; BLOOM, P.R. Aluminum. In: BARTELS, J. M. et al. **Methods of soil analysis**. 3. Ed. Madison: ASA and SSSA, 1996. p. 517-550.

BLEVINS, R.L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v. 3, p. 135-146, 1983.

BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. & WHITE, R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRNAN, R.P. **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht, Kluwer Academic, 1991. p.169-179.

BRUNETTO, G. et al. 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**, Viçosa, v. 36, n. 6, p.1620-1628, 2012.

BURTON, C. H. Processing strategies for farm livestock slurries: an EU collaboration. **Ingénieries**, Cachan, p. 5-10, 1996. Supplement.

CABRAL, J. R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CAOVILLA, F.A. et al. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivados com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, suplemento, p. 283-287, 2005.

CASSOL, P. C. et al. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejeto suíno e adubo solúvel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 10, n. 2, p.1 03-112, 2011.

CASSOL, P. C. et al. Disponibilidade de macronutrientes e rendimentos de milho em Latossolo fertilizado com dejeto suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1911-1923, 2012.

CASSOL, P. C. et al. Frações de fósforo em estrume e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 635-644, 2001.

CASSOL, P. C.; SARTOR, J. E.; SANTOS, A. S. Valores de pH e alumínio trocável do solo em função de doses de calcário e de estrumes de bovino, frango e suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. (Resumo expandido).

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, n. 1-2-3, p. 49-60, 1955.

CERETTA, C. A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729- 735, jun 2003.

CERETTA, C. A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistemas de cultura sob plantio direto**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 127p. (Tese de Doutorado)

CERETTA, C. A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 45, n. 6, p. 593- 602, 2010.

CHANTIGNY, M. H.; ROCHETTE, P. & ANGERS, D.A. Shortterm C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, Quebec v. 81, p. 131-137, 2001.

CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 2016. 376 p.

CONDÉ, M. S. et al. Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 15, n. 2, p. 161-178, 2013.

COSTA, V. L. et al. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

DA ROS, C. O. et al. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, Frederico Westphalen, v.1, n.1, p. 35-44, 2017.

DAL BOSCO; T. C. et al. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola - Estudo de caso. **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 139-144, 2008.

DARTORA, V.; MORES, N.; WOLOSZYN, N. **Procedimentos básicos na produção de suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão - Embrapa Suínos e Aves-EMATER/RS. Porto Alegre. Jun. 1997. 24 p. (6 BIPERS).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Humberto Gonçalves dos Santos [et al.] – 3.ed. rev. ampl.-Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/ CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA. Disponível em: Acesso em: 20 Out. 2017.

EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANEY, R. L. Effects of sewage sludge compost applied to acid soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environment Quality**, Madison 5 (4): 422-6,1976.

ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, viçosa, v. 7, n. p. 161-165, 1983.

ERNANI, P.R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages: O Autor, 2016. 254 p.

ERNANI, P.R; ALMEIDA, L. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos de estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 143-150, 1986.

ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

GEBRIM, F. et al. Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2255-2267, 2008.

GOMES FILHO, R. R. et al. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 131-134, 2001.

Gomes, E.R.S. et al. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.557-568, 2004.

GONZALES-ÉRICO, E. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J**, Madison, v. 43, p.1155-1158, 1979.

HELYAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRNAN, R.P. **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.

HERNÁNDEZ, D. et al. Detection of copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy. **Environmental Pollution**, v. 143, p. 212-220, 2006.

HOMEM, B. G. C. et al. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Economia]. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm/lspa_201108.zip (477 kb). Acesso em: 9 out. 2017.

JACKSON, M. L. Aluminum bonding in soils: a unifying principle in soil science. **Soil. Sci. Soc. Am. Proc**, v. 27, n. 1, p. 1-10, 1963.

KONZEN, E.A. et al. **Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho**. Sete Lagoas: CNPMS 1997. 31 p (EMBRAPA - CNPMS. Circular Técnica, 25).

LORENSINI, F. et al. Transferência por percolação de potássio, cálcio e magnésio no solo em sistema plantio direto com sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. In: FERTBIO. 2008, Goiâ **Anais...** FertBio, 2008, Londrina: SBCS, 2008.

LOURENZI, C. R. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 3, p. 233-242, mar 2016.

LOURENZI, C. R. et al. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.

LOURENZI, C. R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1827-1836, 2011.

LUCHESE, A. V.; COSTA, A. C. S.; SOUZA JÚNIOR, I. G. Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmoquímica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 189-199, 2007.

MANTOVANI, A.; ERNANI.; Sangoi. L. A adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 887-895, 2007.

MARQUES, A. S. Efeito da aplicação do biofertilizante de dejetos de caprino no solo e cultura do sorgo. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10., 2015, São Paulo. **Anais...**São Paulo: IEE-USP, 2015.

MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. **International Review Cytology**. V. 200, p. 1-46, 2000.

MOKOLOBATE, M.S.; HAYNES, R.J. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 2, p. 79-85, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Programas eficientes de controle de dejetos na suinocultura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 1.; CONGRESSO DE SUINOCULTURA DO MERCOSUL, 3.; CONGRESSO DA ALVEC, 9., 2002, Foz do Iguaçú. **Anais das palestras**: Concórdia: Embrapa Suínos e Aves: 2002. p.143-158.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27, 1993. 188 p.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 46, n. 5, p. 993-997, 1982.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PELES, D. **Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquido de suínos.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 97p. (Dissertação Mestrado).

QUAGGIO; J. A.; RAIJ; B. V. Determinação do pH em Cloreto de Cálcio e da Acidez Total. In: RAIJ B. V.; ANDRADE, J. C.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. 1. Ed. Campinas: IAC, 2001. p. 181-188.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004a.

QUEIROZ, F. M et al. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 77-90, 2004b.

REI, Edvaldo F. dos. Et al. Alterações no pH, matéria orgânica e ctc efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 31-38, 2009.

RHODEN, A. C. et al. Parâmetros químicos do solo influenciados por aplicação de dejetos de suínos em áreas agrícolas do oeste catarinense. **Revista Ciências agroveterinárias e alimentos**, Itapiranga, v. 1, n. 2, p. 1-12, 2017.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - Atributos químicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 34, n. 2, p. 543-551, 2010.

RITCHIE, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savana Oxisols. **Soil Sci**, Baltimore, v.133, n. 6, p. 378-382, 1982.

RITCHIE, S. W. et al. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special Report, 48).

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas. Nov. 2010. 26 p.

ROSADO, T. L. et al. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um Latossolo cultivado com capim-mombaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, 840-849, 2014.

ROUT, G. R.; SAMANTARAY, S.; Das, P. Aluminium toxicity in plants: a review. **Agronomie, EDP Sciences**, v. 21, n. 1, p. 3-21, 2001.

SACOMORI, W. et al. Concentração de nutrientes na solução do subsolo de lavoura fertilizada com dejetos líquido de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 3, p. 245-258, 2016.

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

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p.123-131, 2007.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 129-141, 1999.

SEGANFREDO, M. A. **Uso de dejetos suínos como fertilizante e seus riscos ambientais.** Gestão ambiental na suinocultura. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 302 p.

SHEN, Q. R.; SHEN, Z. G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil. **Bioresour. Technology**, v.76, n. 3, p. 235-240, 2001.

SILVA, A. A. et al. Fertilização com resíduos suínos: influência nas características bromatológicas da brachiaria decumbens e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 254-265, 2015.

SILVA, D. C. P. R. **Rendimento de milho e atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com adubo solúvel e dejeito suíno.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2009, 69 p. (Dissertação de Mestrado).

SIMONETE, M. A. ET AL. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados.** Planaltina: CPAC, 1995, 20 p (EMBRAPA – CPAC. Circular técnica, 32)

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo.** 10. Ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 205-274.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils.** University of California at Berkeley. Oxford University Press. New York, 1989. 277 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147 p. (Boletim Técnico, 5).

THOMAS, G. W.; HARGROVE, W. L. The chemistry of soil acidity. In: ADAMS, F. (ED.) **Soil acidity and liming.** 2. Ed. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1984. p. 3-56.

TISOTT, A. R. et al. Melhoramento de campo nativo com aplicação de esterco líquido de suínos na região da depressão central do rio grande do sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

USDA – United States Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade.** Foreign Agricultural Service, 12 out. 2016. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/data/livestock-andpoultry-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

WESSELINK. L. G. A simple of soil organic matter complexation to predict the solubility of aluminum in acid forest soils. **Journal Soil Science**, Europ, v. 47, p. 373-384, 1996.