

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GABRIEL ALEXANDRE TESSER AUGUSTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO
COM NÍVEIS DE CALAGEM E CAMA DE AVIÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GABRIEL ALEXANDRE TESSER AUGUSTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO
COM NÍVEIS DE CALAGEM E CAMA DE AVIÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

GABRIEL ALEXANDRE TESSER AUGUSTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO
COM NÍVEIS DE CALAGEM E CAMA DE AVIÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol

PATO BRANCO

2021

Augusto, Gabriel Alexandre Tesser

Atributos físicos do solo em ensaio de longa duração com níveis de calagem e cama de aviário / Gabriel Alexandre Tesser Augusto.

Pato Branco. UTFPR, 2021

45 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2021.

Bibliografia: f. 39 - 44

1. Agronomia. 2. Resíduo orgânico. 3. Solos ácidos. 4. Física do solo. I. Cassol, Luís César, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. III. Título.

CDD: 630



TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO COM NÍVEIS DE CALAGEM E CAMA DE AVIÁRIO

Por

Gabriel Alexandre Tesser Augusto

Monografia defendida em sessão pública às 08 horas 30 min. do dia 10 de agosto de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco. O candidato foi arguido/a pela Banca Examinadora composta pelos Membros abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso, em sua forma final, pela Coordenação do Curso de Agronomia foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

M.Sc. Vacilania Pacheco - PPGAG-PB UTFPR - Doutoranda

Prof^ª. Dr^ª. Rachel Muylaert Lock Guimarães - UTFPR *Campus* Pato Branco

Prof. Dr. Luís César Cassol - UTFPR *Campus* Pato Branco - Orientador

Prof. Dr. Jorge Jamhour - Professor responsável TCC 2

A “Ata de Defesa” e o decorrente “Termo de Aprovação” encontram-se assinados e devidamente depositados no SEI-UTFPR da Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR *Campus* Pato Branco, após a entrega da versão corrigida do trabalho, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

Dedico este trabalho a meus pais e avôs que sem eles não chegaria a este ponto.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente a minha família pelo suporte necessário em todas as etapas da minha graduação, desde a época de calouro até o fim do curso, em qualquer uma das dificuldades apresentadas durante o curso.

Agradeço a todos os professores que passei pela UTFPR, por terem me ensinado tanto durante esse período. Este agradecimento vai especialmente ao Prof. Luís César Cassol, por todos os ensinamentos repassados durante a fase de formulação e realização deste trabalho e durante o andar da faculdade.

Agradeço profundamente a todos os colegas que me auxiliaram durante as diversas fases deste experimento.

Agradeço ao pessoal do Laboratório de Física do Solo da UTFPR Campus Pato Branco, singularmente à doutoranda Vacilania Pacheco por ter me auxiliado na realização das etapas de laboratório.

E um agradecimento final a todos os amigos da UTFPR que conheci durante a graduação, os quais vou guardar com respeito pelo resto da minha carreira.

*“For long you live and high you fly
And smiles you’ll give and tears you’ll cry
And all you touch and all you see
Is all your life will ever be”*

*(Richard Wright e David Gilmour em *The Dark Side of the Moon*)*

RESUMO

AUGUSTO, Gabriel Alexandre Tesser. Atributos físicos do solo em ensaio de longa duração com níveis de calagem e cama de aviário. 45 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

O uso de corretivos e fertilizantes são fundamentais em solos de regiões tropicais e subtropicais. O calcário, que é utilizado em solos ácidos, e a cama de aviário, que é um tipo de resíduo orgânico, são alternativas de baixo custo e promovem alterações químicas no solo. Nem sempre são observadas alterações sobre a parte física do solo com a aplicação desses produtos. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do calcário e da cama de aviário sobre atributos físicos do solo, em ensaio de longa duração. O delineamento experimental é o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram aplicadas quatro doses de calcário dolomítico (0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹), em 2015; as subparcelas vem recebendo quatro doses de cama de aviário (0, 4, 8 e 12 Mg ha⁻¹), base úmida, aplicadas anualmente, desde 2011. Na safra 2019/2020, antecedendo o cultivo da soja, foram coletadas amostras indeformadas (anéis volumétricos) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm para avaliação da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e fatias de solo para se realizar a avaliação visual da estrutura do solo (VESS). A dose mais elevada de calcário aumentou a Ds e reduziu a Pt e a Mic, na camada de 0-5 cm, porém não houve ajuste dos valores observados ao modelo matemático proposto. O uso contínuo de cama de aviário, após nove aplicações, não influenciou nos atributos físicos analisados. Tanto a calagem quanto a aplicação de cama de aviário não promoveram qualquer alteração na qualidade visual da estrutura do solo, cujo valor médio foi de Qe 2,22, classificado como de boa qualidade estrutural.

Palavras-chave: Resíduo orgânico. Solos ácidos. Física do solo.

ABSTRACT

AUGUSTO, Gabriel Alexandre Tesser. Soil physical attributes in a long-term test with scales of liming and poultry litter. 45 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

The use of soil correctives and fertilizers are fundamentals in soils of tropical and subtropical regions. Lime, which is used on acid soils, and poultry litter, which is a type of organic waste, are low-cost alternatives and promote soil chemical alterations. Not always are observed alterations on soil physics with the application of these products. The objective of this study was to measure the effects of lime and poultry litter on the soil's physical attributes, in a long-term test. The experimental design applied was of random blocks with subdivided parcels. On the main parcels were applied four doses of dolomitic limestone (0, 2, 4 and 8 Mg ha⁻¹), in 2015; the sub parcels were receiving four doses of poultry litter (0, 4, 8 and 12 Mg ha⁻¹), moist base, annually applied, since 2011. On the crop-year 2019/2020, before the soy seeding, were collected undisturbed samples (volumetric rings) between the layers of 0-5 and 5-10 cm for bulk density (Ds), total porosity (Pt), macroporosity (Mac) and microporosity (Mic) evaluations and soil slices to conduct the Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). The highest dose of lime applied has risen the Ds and reduced the Pt and influenced the soil physical attributes analyzed. Either lime or the poultry litter applications didn't promote any alterations in the VESS, whose average result was Qe 2.22; rated as of good structural quality.

Keywords: Organic waste. Acid soils. Soil physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Protocolo experimental, onde as cores representam a parcela principal (doses de calcário aplicadas em 2015) e o número, dentro de cada unidade experimental, representa as subparcelas (doses de cama de aves aplicadas anualmente antes da cultura de inverno) (Mg ha^{-1})..... 25
- Figura 2 – Densidade (a) e porosidade total do solo (b), na profundidade de 0-5 cm, em área submetida ao efeito residual de doses de calcário dolomítico aplicado em cobertura.....30
- Figura 3 – Microporosidade na profundidade de 0-5 cm do solo submetido ao efeito residual de doses de calcário dolomítico aplicado em cobertura.....33

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt). UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....29
- Tabela 2 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para a variável avaliação visual da estrutura do solo (VESS). UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....36

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Sindiavipar	Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VESS	Avaliação Visual da Estrutura do Solo

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cfa	Clima subtropical úmido
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação
DMG	Diâmetro médio geométrico
DMP	Diâmetro médio ponderado
Ds	Densidade do solo
GL	Graus de liberdade
kPa	Quilopascal
h	Altura
K	Potássio
Mac	Macroporosidade
Mg	Magnésio
Mic	Microporosidade
Mo	Molibdênio
Ms ⁻⁶⁰	Massa de solo a -60 cm coluna d'água
Mss	Massa de solo seco
Mssat	Massa de solo saturado
N	Nitrogênio
p	Probabilidade de significância
P	Fósforo
PESN	Ponto de Efeito Salino Nulo
pH	Potencial hidrogeniônico
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
Pt	Porosidade Total
Qe	Nota de qualidade estrutural do solo
r	Raio
S	Enxofre
V	Volume

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Temperatura em graus Celsius
<	Menor que
cm	Centímetro
cm ³ cm ⁻³	Centímetro cúbico por centímetro cúbico
L ha ⁻¹	Litros por hectare
m	Metro
Mg ha ⁻¹	Megagrama por hectare
R ²	Coeficiente de determinação
π	Pi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 EFEITOS DO CALCÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	18
3.2 EFEITOS DA CAMA DE AVIÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	24
4.2 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO.....	24
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	24
4.4 AVALIAÇÕES REALIZADAS.....	25
4.4.1 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO.....	25
4.4.2 VESS.....	27
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 CALAGEM.....	29
5.1.1 Densidade do solo e porosidade total.....	29
5.1.2 Macroporosidade.....	32
5.1.3 Microporosidade.....	32
5.2 CAMA DE AVIÁRIO.....	34
5.2.1 Densidade do solo.....	34
5.2.2 Porosidade total.....	34
5.2.3 Macroporosidade.....	35
5.2.4 Microporosidade.....	35
5.3 VESS.....	36
6 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo, com avanços crescentes e rápidos da tecnologia, a necessidade de atualização constante dos produtores, não apenas para a escolha e uso das novas opções tecnológicas, mas também para fatores do mercado e obtenção de níveis de produtividade cada vez mais elevados, com o intuito de melhorar sua rentabilidade, é uma realidade na atividade agrícola.

Independentemente dos avanços tecnológicos, o manejo adequado do solo com práticas já consagradas na agricultura (correção de acidez, adubação equilibrada, sistema plantio direto com os pilares da rotação de culturas, do revolvimento exclusivo na linha de semeadura e da presença de palha, entre outras) foram e continuarão sendo fundamentais para uma agricultura que seja produtiva, mas também com segurança alimentar.

O solo é primordial para a produção das diversas culturas utilizadas pelo homem, desta forma manejá-lo adequadamente é essencial para manter a produtividade agrícola (ADELI *et al.*, 2009). Caso contrário, o uso contínuo do solo para práticas agrícolas sem o manejo correto pode levar à deterioração das propriedades físicas e químicas do solo, acentuando ainda mais os efeitos já visíveis das mudanças climáticas sobre o desempenho das espécies.

A calagem é uma das práticas fundamentais de manejo para solos em regiões de clima tropical e subtropical, demonstrando um bom retorno no investimento realizado pelos produtores. O calcário tem por objetivo principal corrigir o pH dos solos ácidos, neutralizar o alumínio tóxico, fornecer cálcio e magnésio, aumentar a disponibilidade de N, P, K, S, B, Mo, promover a formação de cargas que favorecem o aumento da CTC e ativar a vida microbiana do solo, contribuindo, desta forma, para propiciar condições mais adequadas ao desenvolvimento das plantas. O melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas em solos com acidez corrigida, também promove melhoria nas condições estruturais, favorecendo a maior produtividade dos cultivos.

Outra prática de manejo necessária em solos altamente intemperizados, como os que ocorrem no território brasileiro, é o uso da adubação. Esta pode ser efetuada com insumos químicos (fertilizantes minerais), orgânicos ou

organominerais. Uma das possibilidades, em face às características regionais onde a atividade avícola é expressiva, consiste no uso da cama de aviário, a qual vem se tornando uma prática cada vez mais comum no meio agrícola para o manejo de solos (BOLAN *et al.*, 2010). A utilização de cama de aviário como fertilizante proverá quantidades significativas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Cu, Zn, Mo) para as plantas, além de melhorar a atividade microbiana podendo influenciar nas características físicas do solo.

Apesar dos benefícios do uso de calcário e da cama de aviário em solos agrícolas, quando usados em excesso ou sem critérios técnicos, ambos podem alcalinizar os solos, especialmente nas camadas superficiais, já que no sistema plantio direto esses insumos não são incorporados ao solo. Em solos alcalinos existe o risco de dispersão de partículas de argila, que ocasionam como consequência a desestruturação o solo, o entupimento dos poros e o aumento os riscos de erosão.

A hipótese desse trabalho é que a aplicação de doses elevadas de calcário e de cama de aviário, ao promover a alcalinização do solo, afetam os atributos físicos do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o efeito do calcário e da cama de aviário sobre atributos físicos do solo, em ensaio de longa duração.

2.2 ESPECÍFICOS

Quantificar os atributos físicos densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo após quatro e oito anos da aplicação de níveis crescentes de calcário e de cama de aviário, respectivamente.

Avaliar a qualidade estrutural do solo através da Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS), para verificar os possíveis impactos das aplicações de calcário e cama de aviário na estrutura do solo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EFEITOS DO CALCÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A calagem é uma prática corriqueira na agricultura brasileira porque a maior parte dos solos são altamente intemperizados e perderam a sua fertilidade natural. Em função disso são solos ácidos, pobres em bases trocáveis e deficientes na maioria dos nutrientes essenciais. O uso do calcário promove aumento do pH do solo, além de neutralizar o Al trocável pela sua insolubilização na forma de hidróxido. A calagem também aumenta os teores de Ca e Mg presentes no solo e é responsável pelo surgimento de cargas negativas responsáveis pela CTC, já que nestas regiões predominam as cargas variáveis (MEURER, 2015).

Estas mudanças no perfil químico do solo podem influenciar os atributos físicos do solo através da alteração do comportamento eletroquímico dos colóides (ALBUQUERQUE *et al.*, 2003). A proporção na qual a calagem mudará a estrutura de solo depende da solubilidade do material adicionado, do tamanho de partícula e da capacidade do efeito tampão do solo (HOLLAND *et al.*, 2018), além da dose aplicada.

Quando corretamente utilizado espera-se que o calcário promova melhores condições para o crescimento das plantas; neste caso, as culturas produzirão uma maior quantidade de biomassa, tanto da parte aérea quanto das raízes, fatores que resultarão em melhor agregação do solo. O calcário também favorece a atividade microbiana melhorando a qualidade estrutural dos solos e reduzindo a erosão, através da produção de polissacarídeos que se constituem em agente cimentante (ARANTES; LAVORENTI; TORNISIELO, 2007).

Um estudo em solos salinos, realizado por Bennett *et al.* (2014), demonstrou que os efeitos da calagem sob as propriedades físicas do solo ainda estavam evidentes após 12 anos, desde a última aplicação de calcário nesse solo. Foi deduzido que a calagem funcionou como um catalisador para aumentar a atividade vegetativa sob o solo e aumentar a sua funcionalidade. No estudo também foi relatado um aumento na estabilidade dos agregados e um aumento na

condutividade hidráulica do solo quando aplicado um total de 5 Mg ha⁻¹ de calcário no solo.

No entanto, o uso excessivo de calcário (associado ou não a cama de aviário) pode trazer efeitos negativos para a qualidade estrutural dos solos. Trabalhando em um Latossolo Bruno argiloso do Planalto catarinense com a aplicação de doses crescentes de calcário (0, 4,5 e 9,0 Mg ha⁻¹) incorporadas à 17 cm com uma aração e duas gradagens, Albuquerque *et al.* (2003) observaram aumento do ponto de efeito salino nulo (PESN) e do potencial elétrico superficial negativo com o uso do calcário, além de uma tendência de diminuição no teor de carbono orgânico do solo, de 27,0 para 24,8 g kg ha⁻¹ sem calcário e com a aplicação de 9,0 Mg ha⁻¹, respectivamente. Essas alterações promoveram aumento da dispersão de argila, dado que o grau de floculação caiu de 69% (sem calcário) para 58% com a adição da dose máxima. No entanto, o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados não foi afetado pela calagem, possivelmente pelos elevados teores de carbono orgânico desse solo, mesmo com a tendência de redução pela calagem. A matéria orgânica do solo é responsável pela elevada estabilidade da estrutura, mantendo os agregados estáveis. Os autores também destacaram que neste solo a calagem interferiu de maneira negativa na floculação das partículas, porém sem comprometer a estabilidade do solo pelo estímulo proporcionado à atividade biológica. É importante destacar que o pH-H₂O variou de 4,7 (sem calcário) a 6,3 (com aplicação de 9,0 Mg ha⁻¹ de calcário), ou seja, ainda se manteve abaixo da zona de alcalinidade.

Em um estudo realizado por Bortoluzzi *et al.* (2010), foi testado a utilização do processo de difração de raios lasers para demonstrar com elevado nível de detalhe a distribuição de tamanhos de partículas. O estudo foi realizado num Argissolo Vermelho Acinzentado distrófico plíntico, que recebeu diversas doses de calcário (0, 2, 8,5 e 17,0 Mg ha⁻¹) sendo este aplicado sob a superfície ou incorporado ao solo. O estudo demonstrou que por métodos tradicionais o DMP, índice de estabilidade de agregados, microporosidade e a macroporosidade não apresentaram significância em seus resultados. Porém, quando utilizando a difração de raios lasers, foi observada uma correlação positiva significativa linear do aumento das dosagens com o aumento do DMP e do índice de estabilidade de agregados.

Com isso os autores afirmam que as mudanças nos aspectos eletroquímicos do solo devido ao aumento das doses de calcário, promove uma melhor estabilidade de microagregados.

Bertollo (2014) realizou um estudo monitorando os efeitos da calagem e da gessagem em três métodos diferentes de preparo de solo (plantio direto + aração; plantio direto + escarificação; plantio direto contínuo), num Latossolo Vermelho por um período de 10 anos. Em conjunto com os manejos de solo foram aplicadas doses de 0, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹ de calcário em subparcelas e doses de gesso nas subparcelas (0, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹). No estudo se observou diminuição da macroporosidade conforme o aumento das doses de calcário no manejo escarificado. A microporosidade não foi afetada pelos manejos de calcário e gesso. A densidade do solo apresentou uma curva com uma tendência polinomial quadrática onde diminui com a dose de 2 Mg ha⁻¹ e nas doses superiores esse valor aumentou no manejo convencional; na porosidade total esse resultado aconteceu de maneira inversa no mesmo manejo. Nas áreas onde o solo havia sido arado, foi possível observar uma redução no diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados conforme o aumento das dosagens de calcário.

De 1994 a 2006, Bortoluzzi *et al.* (2008) realizaram um experimento num Argissolo Acinzentado distrófico plíntico, com aplicação de doses crescentes de calcário (0, 2,2, 8,5 e 17 Mg ha⁻¹), sendo parte aplicada a lanço e na outra com o calcário sendo incorporado através de uma lavração e duas gradagens. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0–5 e 5–10 cm. Verificou-se que a velocidade de umectação é maior nas doses maiores do calcário promovendo alteração na relação entre solo e água, deixando o solo com maior capacidade de absorção de água. Neste estudo, tanto as doses quanto as formas de aplicação do calcário (lanço ou incorporado) não influenciaram a densidade do solo, possivelmente porque as amostras foram coletadas 12 anos após a aplicação dos tratamentos e a manutenção do sistema plantio direto por esse tempo pode ter minimizado os efeitos da mobilização de solo inicial para incorporar o calcário.

Castro, Calonego e Crusciol (2011), num Latossolo Vermelho argiloso com quatro sistemas de rotação e três formas de correção da acidez (sem correção, aplicação de 3,8 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e aplicação de 4,1 Mg ha⁻¹ de silicato

de cálcio e magnésio), demonstraram que a correção da acidez com calcário ou silicato aumentou a macroporosidade na camada de 0–0,1 m e 0,1–0,2 m de solo. Nesse estudo, conduzido por um período de dois anos, a densidade do solo, a porosidade total, a microporosidade, o DMG (diâmetro médio geométrico) e o DMP (diâmetro médio ponderado) não foram afetados pelos corretivos ou pelos sistemas de rotações.

3.2 EFEITOS DA CAMA DE AVIÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A cama de aviário é um material proveniente da criação de frangos, formada por maravalha (material absorvente de umidade), excrementos, penas das aves e restos de ração. Somente o estado do Paraná, em 2020, abateu 1,95 bilhão de aves, segundo dados do Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (Sindiavipar), cujo produto é exportado para mais de 160 países, sendo o Paraná responsável por 39,62% dessas exportações (SINDIAVIPAR, 2020).

No Sudoeste do Paraná a produção de frangos de corte é bastante expressiva. Uma vez concluído os lotes de criação de frangos de corte, a forração conhecida como cama de aviário pode ser utilizada como adubo orgânico na agricultura, devido ao seu preço mais acessível em relação aos adubos minerais encontrados no mercado agrícola, além de apresentar vários nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. A dosagem a ser recomendada para o uso do agricultor precisa se basear nas necessidades da cultura implantada, na composição química do material e na capacidade de fornecimento de nutrientes via solo (SILVA *et al.*, 2011).

Avaliando o efeito de quatro doses de cama de aviário (0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹), Carvalho *et al.* (2011) observaram aumento na altura de planta e na inserção do primeiro legume, massa de 100 grãos, aumento no número de legumes por planta e no rendimento de grãos de soja, porém na dose mais elevada pode ocorrer acamamento das plantas. Os autores consideraram que o uso da cama de aviário na adubação do solo é viável em termos agrônômicos e econômicos na cultura da soja.

A literatura apresenta vários resultados sobre os efeitos da cama de aviário sobre o rendimento das culturas e os atributos químicos do solo. No entanto,

menos frequentes são os trabalhos que avaliam o efeito da cama de aviário sobre propriedades físicas do solo. Quando corretamente utilizado, especialmente no tocante a dose e frequência de aplicação, espera-se que a cama de aviário aumente os teores de matéria orgânica do solo, contribuindo também para a melhoria nos atributos físicos e biológicos do solo.

Segundo Costa *et al.* (2009), solos que apresentam um bom nível de conservação tendem a não apresentar resultados expressivos da aplicação desse resíduo, já em solos mais degradados essas aplicações demonstram melhorias nos atributos físicos do solo.

No estudo feito por Adeli *et al.* (2017) nos Estados Unidos em um solo franco-siltoso sob plantio convencional e plantio direto, onde esse último vinha sendo praticado por mais de 20 anos, foram aplicadas em 2005 e 2007, doses de 9 e 18 Mg ha⁻¹ de cama de aviário em subparcelas. Observou-se que os efeitos apresentados pela cama de aviário podem estar relacionados com as características de cada solo, podendo variar sua efetividade dependendo do tipo de manejo de solo. Neste estudo a densidade do solo não foi afetada pelo uso de cama de aviário. Porém, houve um aumento da estabilidade de agregados em doses variadas e uma menor resistência do solo à penetração, a qual segundo os autores é devido ao aumento dos teores de C orgânico e pelos resultados positivos na agregação das camadas superiores do solo. A aplicação de cama de aviário também aumentou a infiltração de água comparado com o tratamento testemunha. O aumento na infiltração foi atribuído ao aumento da estabilidade estrutural do solo, do aumento dos teores de C no solo e a atividade biológica na superfície do solo.

Em um trabalho realizado por Lima (2007), foi estudado a influência de doses crescentes de cama de aviário num Latossolo Vermelho. Além das doses de cama de aviário, os tratamentos também envolviam épocas de coleta de solo (60, 120 e 270 dias após a aplicação do resíduo) e profundidades de amostragem (0–20 e 20–40 cm). O estudo indicou que o teor de argila dispersa em água apresentou uma tendência a decréscimo com o aumento das dosagens e um maior grau de floculação; ocorreu um aumento do grau de floculação e estabilidade dos agregados com o aumento das dosagens de cama aplicadas. As doses dos tratamentos não influenciaram na densidade do solo e na resistência do solo à penetração, foi

observado uma influência significativa com a maior dose aplicada na microporosidade, onde elevou bastante em relação as outras doses inferiores.

O estudo realizado por Brye *et al.* (2005), com objetivo de avaliar o efeito a curto prazo da cama de aviário em duas formas de aplicação (natural e peletizada) e de doses variadas (0, 0,6, 1,2, 2,5, 3,8 e 5,1 Mg ha⁻¹) em três solos de textura fina na densidade do solo e conteúdo volumétrico de água no solo na camada de 0–10 cm, demonstrou que a forma de aplicação do material não afetou os resultados. Mas, contrastando, houve significância nas dosagens aplicadas, onde o aumento da dosagem promoveu a redução da densidade do solo e não demonstrou resultados significativos no conteúdo volumétrico de água no solo. Os autores afirmam que a cama de aviário apresenta resultados positivos a curto prazo em solos que apresentam textura mais fina (dois solos franco siltosos e um argilo-siltoso).

Costa *et al.* (2009), avaliaram a influência da aplicação da cama de aviário na recuperação física de uma pastagem degradada do Cerrado sob um Latossolo Vermelho Distrófico típico, coletando amostras nas camadas de 0–20 e 20–40 cm, em duas épocas (60 e 210 dias após os tratamentos). Os tratamentos utilizados foram: 0, 1,2, 2,4, 4,8 Mg ha⁻¹ de cama de aviário e 2,4 Mg ha⁻¹ de cama com mais uma dosagem de adubação mineral. Ocorreu uma redução dos teores de argila dispersa em água com o aumento das doses de cama de aviário, fato que pode reduzir a lixiviação das argilas, evitando que ocorra um entupimento dos poros que promovem o movimento da água do lençol freático para a superfície (TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010). Foi observado um aumento significativo no grau de floculação, uma leve redução na densidade do solo conforme o aumento da dosagem da cama de aviário e um aumento proporcional na porosidade total, independente da profundidade e épocas de aplicação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado no ano de 2011 na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, que está situado a 26° 48' 557" latitude sul e 52° 41' 385" longitude oeste, com altitude de 770 metros acima do nível do mar, clima classificado como Cfa (subtropical úmido), solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa e chuvas bem distribuídas durante todo ano, com pluviosidade anual média de 1951 mm de chuva (SIMEPAR, 2021).

4.2 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO

No período de 2011 a 2014, o experimento envolvia quatro épocas de aplicação (parcelas) e quatro doses de cama de aviário (subparcelas) aplicadas uma vez por ano. As épocas foram 0, 15, 30 e 45 dias antes da semeadura da cultura de inverno, enquanto as doses foram de 0, 4, 8 e 12 Mg ha⁻¹ (base úmida), aplicadas em superfície (sem incorporação).

A partir de 2015, as épocas de aplicação da cama de aviário (parcela principal) foram substituídas pela aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico, PRNT 82% (0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹). Essas doses foram aplicadas numa única vez, no dia 09/05/2015; nas subparcelas permaneceram as mesmas aplicações das doses de cama de aviário previamente citadas.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. As parcelas principais apresentam uma área de 5x20 m e se constituíram nas doses de calcário aplicadas em 2015; as subparcelas apresentam

uma área de 5x5 m e formadas pelas doses de cama de aviário em base úmida (Figura 1).

Figura 1 – Protocolo experimental, onde as cores representam a parcela principal (doses de calcário aplicadas em 2015) e o número, dentro de cada unidade experimental, representa as subparcelas (doses de cama de aves aplicadas anualmente antes da cultura de inverno) (Mg ha^{-1}).



As avaliações desse trabalho foram realizadas na safra agrícola 2019/2020, após a nona aplicação das doses de cama de aviário (2011 a 2019). No outono-inverno de 2019 a área foi submetida ao cultivo de um mix de plantas de cobertura do solo, composto por aveia, centeio, nabo forrageiro e ervilhaca. O cultivo de verão estabelecido foi a cultura da soja após as coletas de solo.

4.4 AVALIAÇÕES REALIZADAS

4.4.1 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO

A coleta das amostras indeformadas de solo foi realizada entre o fim de setembro e início de outubro de 2019, antecedendo a semeadura da soja. Foram abertas trincheiras e utilizados cilindros metálicos de 6 x 5 cm (diâmetro x altura),

coletando nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm. As amostras foram destinadas para o laboratório de física do solo da UTFPR/Campus Pato Branco.

No laboratório as amostras foram uniformizadas para o volume do cilindro, utilizando estilete, e preparadas com a utilização de formaldeído para a eliminação de organismos nas amostras, sendo após saturadas com água de forma lenta. Após saturadas permaneceram por um período de aproximadamente 48 horas sob condição de saturação em água. Ao final desse período as amostras saturadas foram pesadas e levadas a mesa de tensão (CRAWFORD, 2015).

Após um período na mesa de tensão a um potencial de -6 kPa, foram novamente pesadas. Em seguida foram colocadas em estufa a uma temperatura de 105 °C por um período de aproximadamente 72 horas até atingirem peso constante, quando novamente foram pesadas. Os atributos físicos do solo densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade (M_{ac}) e microporosidade (M_{ic}) foram calculados utilizando as equações descritas abaixo.

O volume dos cilindros foi obtido utilizando a equação 1.

Inicialmente é necessário calcular o volume dos anéis utilizando a equação 1

$$V = \pi * r^2 * h \quad (1)$$

V = Volume (cm^3)

π = pi

r = raio do cilindro (cm)

h = altura do cilindro (cm)

D_s foi calculada da seguinte forma (equação 2):

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (2)$$

D_s = densidade do solo (g cm^{-3})

M_{ss} = massa de solo seco a 105 °C (g);

V = volume do anel (cm^3)

A M_{ic} foi calculada conforme a equação 3:

$$M_{ic} = \frac{M_{s^{-60cm}} - M_{ss}}{V} \quad (3)$$

M_{ic} = microporosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

$M_{s^{-60}}$ = massa de solo a -60 cm coluna d'água (g)

M_{ss} = massa de solo seco a 105 °C (g)

V = volume do anel (cm^3)

A P_t foi calculada da seguinte maneira conforme a equação 4:

$$P_t = \frac{M_{ssat} - M_{ss}}{V} \quad (4)$$

P_t = Porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

M_{ssat} . = massa de solo saturado (g)

M_{ss} = massa de solo seco a 105 °C (g)

V = Volume do anel (cm^3)

Mac é calculada pela diferença entre a P_t e a Mic , conforme a equação 5:

$$Mac = P_t - Mic \quad (5)$$

Mac = Macroporosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

P_t = Porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

Mic = microporosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

4.4.2 VESS

A coleta das amostras para determinação da avaliação visual da estrutura do solo (VESS) foi realizada com a ajuda de uma pá reta, bandeja e a carta de avaliação do VESS. Foram abertas 64 minitrincheiras de aproximadamente 0,30 m de profundidade x 0,20 m de largura e retirado uma fatia de solo por ponto, na parte não perturbada pela pá de corte, depositando a amostra em uma bandeja.

Em cada amostra eram avaliadas o tamanho dos agregados, bem como sua resistência, poros, raízes e cor do solo; e atribuído uma nota de qualidade estrutural do solo (Q_e), que varia de $Q_e 1$ (melhor qualidade estrutural) a $Q_e 5$ (pior qualidade estrutural). Esta avaliação possibilita a identificação de camadas de solo com qualidade estrutural contrastantes para obtenção da nota final da fatia é realizada uma média ponderada (GUIMARÃES; BALL; TORMENA, 2011).

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados numéricos obtidos foram submetidos a análise de variância para determinar se existem diferenças significativas entre os tratamentos utilizados. Uma vez constatada significância as médias quantitativas foram

submetidas a análise de regressão polinomial considerando um nível de 5% de probabilidade.

A análise estatística e a montagem dos gráficos foi realizada utilizando o software “R” (R CORE TEAM, 2020) e o pacote ExpDes.pt.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não houve interação entre os tratamentos com doses de calcário e de cama de aviário sobre os parâmetros avaliados. Efeito isolado da calagem foi observado para Ds, Mic e Pt apenas na camada de 0-5 cm. A cama de aviário não afetou os atributos físicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt). UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Fontes da variação	GL	Ds	Mac	Mic	Pt
Camada 0-5 cm					
Blocos	3	0,16533	0,01374	0,02538	0,22478
Calcário (C)	3	0,09514*	0,00764 ^{ns}	0,05461*	0,17855*
Cama de aviário (CA)	3	0,01639 ^{ns}	0,01047 ^{ns}	0,01645 ^{ns}	0,01518 ^{ns}
C x CA	9	0,01809 ^{ns}	0,00797 ^{ns}	0,00649 ^{ns}	0,01013 ^{ns}
Resíduo					
Média		1,04 (g cm ⁻³)	0,17 (cm ³ cm ⁻³)	0,44 (cm ³ cm ⁻³)	0,63 (cm ³ cm ⁻³)
CV (%)		12,34	38,63	19,05	14,24
Camada 5-10 cm					
Blocos	3	0,02915	0,00005	0,019172	0,01925
Calcário (C)	3	0,01988 ^{ns}	0,00036 ^{ns}	0,02181 ^{ns}	0,02040 ^{ns}
Cama de aviário (CA)	3	0,00838 ^{ns}	0,00272 ^{ns}	0,00381 ^{ns}	0,00718 ^{ns}
CxCA	9	0,01563 ^{ns}	0,00127 ^{ns}	0,00525 ^{ns}	0,00370 ^{ns}
Resíduo					
Média		1,11 (g cm ⁻³)	0,16 (cm ³ cm ⁻³)	0,44 (cm ³ cm ⁻³)	0,60 (cm ³ cm ⁻³)
CV (%)		8,85	17,84	18,67	14,13

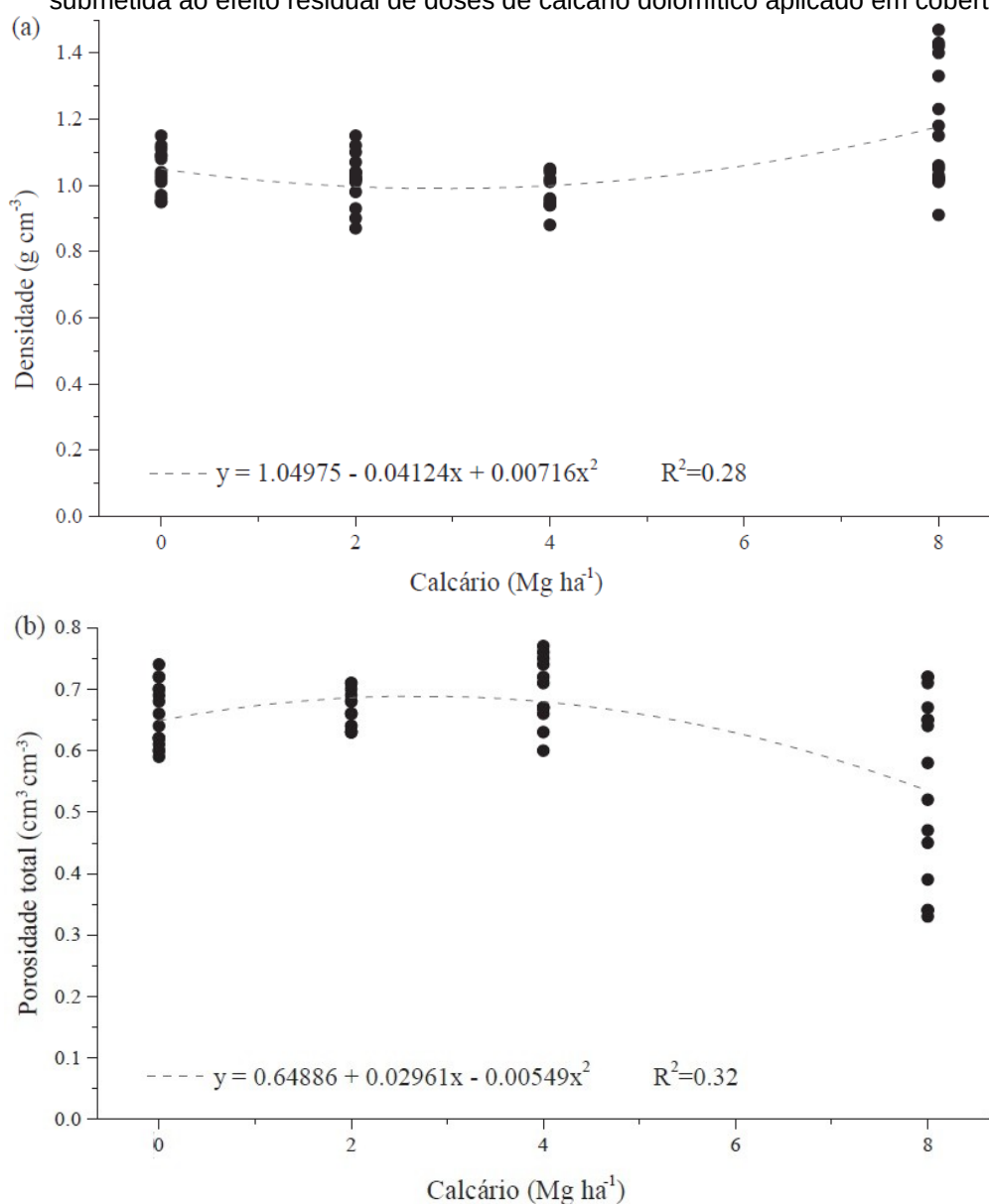
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste F. ^{ns} não significativo.

5.1 CALAGEM

5.1.1 Densidade do solo e porosidade total

Na camada de 0–5 cm a Ds apresentou uma pequena redução até a dose de 2 Mg ha⁻¹ de calcário, estabilizando o valor até a dose de 4 Mg ha⁻¹ e voltando a elevar na dose máxima aplicada (Figura 2a). O mesmo efeito, só que em ordem inversa, foi observado para a Pt do solo (Figura 2b), sendo que o valor máximo de Pt foi obtido na dose de 2,7 Mg ha⁻¹ de calcário, correspondendo a 0,69 cm³ cm⁻³.

Figura 2 – Densidade (a) e porosidade total do solo (b), na profundidade de 0-5 cm, em área submetida ao efeito residual de doses de calcário dolomítico aplicado em cobertura



Uma hipótese levantada é de que essas variações podem ter sido causadas pela dispersão de partículas pelo excesso de calagem levando a um

entupimento dos poros e conseqüente redução de Pt. No entanto, em ambas as equações de regressão, os valores do coeficiente de determinação (R^2) são baixos, indicando que a calagem explica apenas 28 e 32% da variação da Ds e da Pt do solo, respectivamente. Mesmo assim, comparando com a literatura, os resultados encontrados nesse trabalho são corroborados por Pires *et al.* (2013), onde a Ds chegou a apresentar uma leve redução nos valores em doses baixas de calcário, porém em doses elevadas o uso do calcário aumentou a Ds. Contudo, diferem dos apresentados por Auler *et al.* (2017) onde a utilização da calagem ajudou na redução dos valores de Ds e os de Tormena, Roloff e Sá (1998), onde a aplicação dos métodos de correção de solo não influenciaram nos atributos físicos do solo.

Em relação a Pt, em áreas onde foi aplicado doses de calcário (0, 10 e 12 Mg ha⁻¹), Ferreira *et al.* (2019) também encontraram uma redução da Pt em relação à testemunha. Resultado corrobora também por Bertollo (2014), onde nas doses (2 e 4 Mg ha⁻¹) aplicadas sob o manejo de plantio direto e no manejo convencional ocorre uma tendência ao aumento da Pt, enquanto na dose de 6 Mg ha⁻¹ ocorre uma redução da Pt.

Na camada de 5–10 cm de profundidade, o calcário não influenciou de forma significativa na Ds e na Pt do solo. Os valores médios para essa camada foram de 1,11 (g cm⁻³) e 0,60 (cm³ cm⁻³) para Ds e Pt, respectivamente. Resultado semelhante foi apresentado por Lunardi Neto *et al.* (2008), que realizaram um estudo sob uma área de solo reconstruído após mineração a céu aberto, que apresenta características de um Argissolo Vermelho-Amarelo alítico típico, utilizando cinco tratamentos (testemunha; “dregs” (resíduo alcalino); calcário; calcário + *Brachiaria brizantha*; calcário + *Brachiaria brizantha* + cama de aviário) onde nos tratamentos com calcário foram aplicados 25 Mg ha⁻¹ e no de cama de aviário 6 Mg ha⁻¹. Foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0–5 e 5–10 cm e em nenhum dos tratamentos ocorreram alterações significativas quanto a Ds na profundidade de 5–10 cm.

É importante destacar que, nesse trabalho, mesmo com a aplicação de 8 Mg ha⁻¹ de calcário em superfície, quatro anos após, a Ds máxima obtida na camada de 0–5 cm conforme a equação de regressão (Figura 2a) foi de 1,18 g cm⁻³, valor considerado abaixo do nível crítico para solos muito argilosos, que é de 1,35 g

cm^{-3} (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). O histórico de uso no sistema plantio direto, com alto aporte de biomassa, com manejo do solo em condições adequadas de umidade, a utilização do mix forrageiro pode explicar os baixos valores de Ds encontrados.

5.1.2 Macroporosidade

A Mac não foi influenciada pelas doses de calcário ($p > 0,05$), nas duas profundidades avaliadas. Os valores médios foram de 0,178 e 0,161 ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), respectivamente, para as camadas de 0–5 cm e 5–10 cm.

Costa *et al.* (2004) realizaram um estudo em um Latossolo Bruno, com três tratamentos (sem calcário, calcário superficial e calcário incorporado), e aplicação de calcário em 1987 e 1995 (4.5 Mg ha^{-1} e 3 Mg ha^{-1}). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0–5, 5–10 e 10–20 cm de solo. Em todos os tratamentos e profundidades não foi possível observar qualquer efeito significativo do uso de calcário sobre a Mac.

Lunardi Neto *et al.* (2008), aplicando doses elevadas de calcário e cama de aviário, não observaram mudanças significativas dos valores de Mac nas camadas de 0–5 e 5–10 cm.

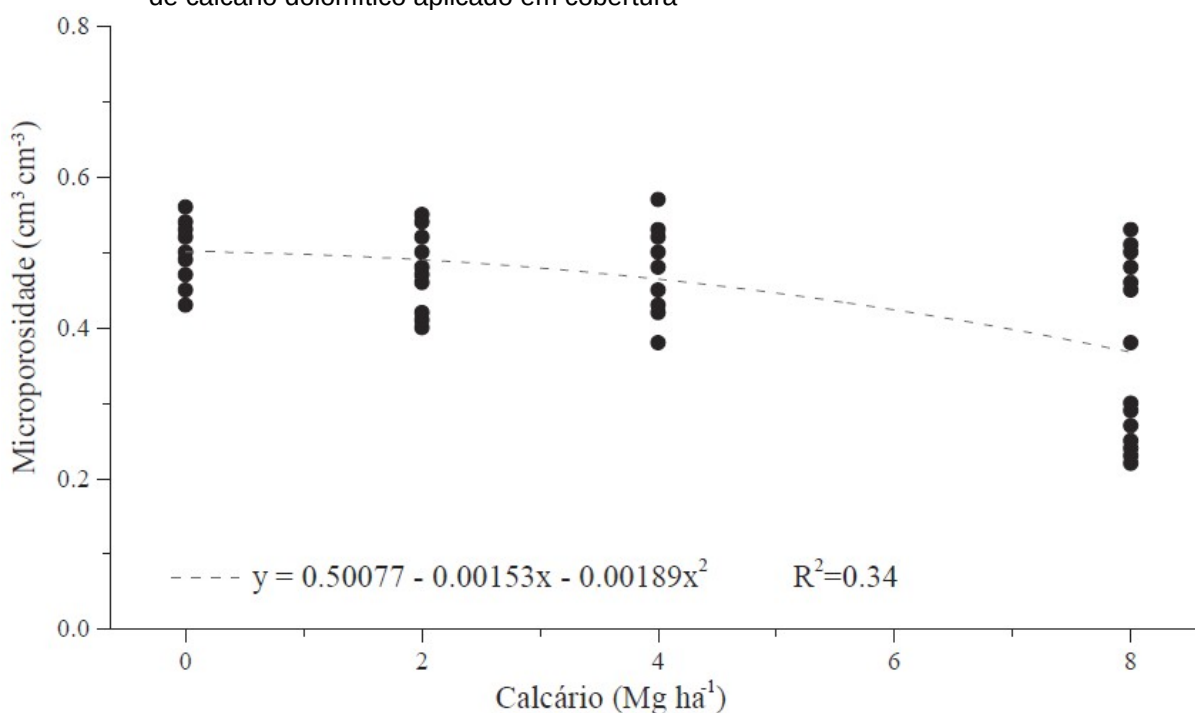
5.1.3 Microporosidade

A Mic na profundidade de 0–5 cm demonstrou significância segundo a estatística, onde ocorreu um leve declínio nos valores de Mic conforme o aumento das doses de calcário (Figura 3). Esse resultado corrobora com os apresentados por Spera *et al.* (2008), num estudo realizado em amostras de Latossolo Vermelho distrófico, guardadas em tubos de PVC e aplicadas diversas dosagens (0; 1,9; 3,8; 5,7; 7,6 e $15,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), onde ocorreu uma redução dos valores de Mic conforme o aumento das doses de calcário aplicadas até a dosagem de $7,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ onde se estabiliza. Bin *et al.* (2007) afirmaram que o calcário é capaz de reduzir o volume de microporos enquanto aumenta o de macroporos em solos com argilominerais

expansivos e Ying *et al.* (2021), afirmam, em estudo realizado em solos salinos, que o calcário causou um rápido decréscimo de microporos devido à floculação das partículas do solo.

A Mic na camada de 5–10 cm não demonstrou significância e apresentou um valor médio de $0,4454 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, esse resultado se compara ao resultado apresentado por Costa *et al.* (2004) e Castro, Calonego e Crusciol (2011) onde a Mic não demonstrou efeito significativo nas análises apresentadas.

Figura 3 – Microporosidade na profundidade de 0-5 cm do solo submetido ao efeito residual de doses de calcário dolomítico aplicado em cobertura



5.2 CAMA DE AVIÁRIO

5.2.1 Densidade do solo

A aplicação de cama de aviário na influenciou a Ds ($p > 0,05$) em nenhuma das profundidades avaliadas, cujos valores médios foram de 1,04 e 1,11 g cm⁻³, respectivamente nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm. Embora utilizando

esterco de suínos, esse resultado foi similar ao apresentado por Santos *et al.* (2013), que também trabalharam com várias doses e não observaram efeito sobre a Ds.

Em um estudo realizado por Costa *et al.* (2009), foram avaliadas diversas aplicações de cama de aviário (0, 1,2, 2,4 e 4,8 Mg ha⁻¹), em um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob uma pastagem degradada, foi observado que nenhuma dose de cama de aviário apresentou significância da Ds na profundidade de 0–20 cm.

5.2.2 Porosidade total

A Pt também não foi afetada pelas doses de cama de aviário ($p > 0,05$), apresentando valores médios de 0,623 e 0,604 cm³ cm⁻³ para as camadas de 0–5 e 5–10 cm, respectivamente.

Tal resultado é corroborado por Silva (2018), onde foi estudado a influência de uso do esterco bovino sobre os atributos físicos do solo aplicado em diversas doses (0, 5, 10, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹), o estudo foi realizado sob um Latossolo Vermelho eutroférico muito argiloso, nele as diferentes dosagens do adubo não influenciaram na Pt desse solo.

Piano e Seidel (2012), num estudo realizado com aplicações de cama de aviário (15 Mg ha⁻¹) combinada com aplicações de adubo mineral (100% adubação mineral, 33% orgânica + 67% mineral, 50%+50%, 67%+33% e 100% adubação orgânica), num Latossolo Vermelho eutroférico, também não encontraram efeito da adubação sobre a Pt.

5.2.3 Macroporosidade

Os resultados para a Mac demonstraram que não houve significância ($p > 0,05$) em relação as doses de cama de aviário; a média para as camadas de 0–5 e 5–10 respectivamente foram 0,178 e 0,161 (cm³ cm⁻³). Esses resultados condizem com os resultados apresentados por Lima (2007), onde realizou-se um estudo utilizando cama de aviário e dejetos suínos de maneira isolada, sendo que para a

cama de aviário (doses de 1,7 3,4, 5,2 e 6,9 Mg ha⁻¹) na profundidade de 0–40 cm (Latossolo Vermelho Distrófico típico), não foi observado resultados significativos para o uso do material na Mac.

Arruda (2007), realizaram aplicações com diferentes dosagens de dejetos suínos e aplicações subdivididas com aplicações variadas de adubação mineral, em um Latossolo Vermelho Distoférico, observando que a utilização do dejetos animal não implicou em mudanças significativas na Mac do solo.

5.2.4 Microporosidade

As análises realizadas demonstram não haver significância para a Mic ($p > 0,05$) em relação a aplicação de cama de aviário. A média apresentada para as camadas 0–5 e 5–10 foi, respectivamente, 0,443 e 0,445 (cm³ cm⁻³). Em um estudo realizado por Pires *et al.* (2008), envolvendo a aplicação de esterco bovino (5 L ha⁻¹) e outros tipos de adubação orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico, os resultados mostraram que a utilização de qualquer um dos tratamentos não exerceu influência significativa na Mic do solo.

Esse resultado da Mic, também é apresentado por Silva (2018) e Piano e Seidel (2012), que relataram que a aplicação de materiais orgânicos no solo não influenciaram significativamente nos valores da Mic.

5.3 VESS

A análise de variância não demonstrou efeito dos tratamentos sobre a avaliação visual de estrutura do solo (VESS) (Tabela 2). Ou seja, tanto o uso de calcário quanto de cama de aviário não foram eficientes em promover mudanças estruturais significativas no solo em estudo.

A ausência de efeito do calcário na avaliação visual da estrutura do solo (VESS) é corroborada por Souza (2019), num estudo realizado com diferentes manejos (plantio convencional com/sem aplicação de calcário, plantio direto com/sem aplicação de calcário e mata nativa), onde os resultados mostram que não

houve diferença dos manejos quando aplicado calcário ou não no resultado final do VESS.

Tabela 2 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para a variável avaliação visual da estrutura do solo (VESS). UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Fontes da variação	GL	VESS
Blocos	3	0,00134
Calcário (C)	3	0,12398 ^{ns}
Cama de aviário (CA)	3	0,09751 ^{ns}
C x CA Resíduo	9	0,10781 ^{ns}
Média		Qe 2,22
CV (%)		16,26

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste F. ^{ns} não significativo.

O valor médio de VESS foi de Qe 2,22, demonstrando, conforme a metodologia de Guimarães, Ball e Tormena (2011), que se trata de um solo que apresenta boa qualidade estrutural, com agregados altamente porosos que apresentam um tamanho de 2 mm a 7 cm não apresentando torrões. Esse elevado valor é resultado das boas práticas adotadas ao longo do tempo, sempre utilizando o sistema plantio direto com alto aporte de biomassa (raiz e parte aérea) e rotação de culturas.

Em um Latossolo muito argiloso da região central do estado do Paraná, após 19 anos de cultivo no sistema plantio direto e submetido a aplicação de doses crescentes de gesso, Müller *et al.* (2012) encontraram valores de Qe de 1,62 e 2,54 para as camadas de 0–7,5 e 7,5–15 cm, respectivamente, com um valor médio de 2,08 para a profundidade de 0–15 cm. De acordo com a metodologia VESS, notas da qualidade estrutural do solo entre 1 e 3 não exigem mudanças no manejo do solo (GUIMARÃES; BALL; TORMENA, 2011). Assim, o valor médio de Qe 2,22 obtido neste trabalho indica que as práticas adotadas na área são adequadas e o solo apresenta boa qualidade estrutural.

6 CONCLUSÕES

A aplicação de dose elevada de calcário (8 Mg ha^{-1}) aumentou a densidade e reduziu a porosidade total e a microporosidade do solo, na camada de 0–5 cm. Contudo, devido ao baixo R^2 , verifica-se que não houve ajuste dos valores observados ao modelo matemático proposto, podendo algum outro vetor ser responsável pelo resultado.

Neste estudo a cama de aviário não promoveu nenhuma alteração nos atributos físicos do solo, independentemente da dosagem utilizada ou profundidade avaliada.

A qualidade estrutural do solo, avaliada pelo VESS, não foi influenciada pelas doses de calcário e de cama de aviário.

REFERÊNCIAS

- ADELI, Ardeshir; DABNEY, Seth M.; TEWOLDE, Haile; JENKINS, Johnie N. Effects of tillage and broiler litter on crop productions in an eroded soil. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 198–209, 1 jan. 2017. DOI 10.1016/j.still.2016.08.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716301696> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- ADELI, Ardeshir; TEWOLDE, Haile; SISTANI, Karamat R.; ROWE, Dennis E. Broiler Litter Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Properties. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 6, p. 1304–1310, 2009. DOI 10.2134/agronj2009.0150. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2009.0150> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799–806, out. 2003. DOI 10.1590/S0100-06832003000500004. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/TqsXKCxrtKDQ4NM8rKjkcWx/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- ARANTES, Sayonara Andrade do Couto Moreno; LAVORENTI, Arquimedes; TORNISIELO, Valdemar Luiz. EFEITO DA CALAGEM E DO GLIFOSATO NA ATIVIDADE MICROBIANA DE DIFERENTES CLASSES DE SOLOS. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, n. 0, 2007. DOI 10.5380/pes.v17i0.9359. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/9359> . Acesso em: 11 ago. 2021.
- ARRUDA, Cesar Alessandro Oliveira de. **Atributos químicos e físicos do solo influenciados pela aplicação de dejetos suínos em lavoura sob plantio direto**. 2007. 48 f. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.
- AULER, André Carlos; PIRES, Luis Fernando; SANTOS, J. A. B. dos; CAIRES, Eduardo Fávero; BORGES, J. a. R.; GIAROLA, Neyde Fabiola Balarezo. Effects of surface-applied and soil-incorporated lime on some physical attributes of a Dystrudept soil. **Soil Use and Management**, v. 33, n. 1, p. 129–140, 2017. DOI 10.1111/sum.12330. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12330> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- BENNETT, John McLean; GREENE, R. S. B.; MURPHY, B. W.; HOCKING, P.; TONGWAY, D.; BENNETT, J. McL; GREENE, R. S. B.; MURPHY, B. W.; HOCKING, P.; TONGWAY, D. Influence of lime and gypsum on long-term rehabilitation of a Red Sodosol, in a semi-arid environment of New South Wales. **Soil Research**, v. 52, n. 2, p. 120–128, 13 mar. 2014. DOI 10.1071/SR13118. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR13118> . Acesso em: 15 jul. 2021.

- BERTOLLO, Altamir Mateus. **Propriedades físicas de um latossolo após calagem, gessagem em manejo do solo**. 2014. Dissertação (mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/4925> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- BIN, Shi; ZHIBIN, Liu; YI, Cai; XIAOPING, Zhang. Micropore Structure of Aggregates in Treated Soils. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, n. 1, p. 99–104, 1 jan. 2007. DOI 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:1(99). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282007%2919%3A1%2899%29> . Acesso em: 14 jul. 2021.
- BOLAN, Nanthi Sirangie; SZOGI, Ariel A.; CHUASAVATHI, Thammared; SESHADRI, Balaji; ROTHROCK, Michael J.; PANNEERSELVAM, Perumal. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 4, p. 673–698, dez. 2010. DOI 10.1017/S0043933910000656. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/world-s-poultry-science-journal/article/abs/uses-and-management-of-poultry-litter/FC7FE34B6394A550AC88F6EF40DF7E54> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- BORTOLUZZI, Edson Campanhola; GARBOZZA, Leandro; GUARESCHI, Caroline; RHEINHEIMER, Danilo dos Santos. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2621–2628, dez. 2008. DOI 10.1590/S0100-06832008000700003. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/XqyrCwrffDGjZMnw4TY54hS/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- BORTOLUZZI, Edson Campanhola; POLETO, Cristiano; BAGINSKI, Álvaro José; SILVA, Vanderlei Rodrigues da. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 725–734, jun. 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000300014. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/Fp8dYsvhYTmXcRMSSYNSJvD/?lang=en> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- BRYE, Kristofor R.; SLATON, N. A.; NORMAN, R. J.; SAVIN, M. C. Short-term Effects of Poultry Litter Form and Rate on Soil Bulk Density and Water Content. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 15–16, p. 2311–2325, 3 jan. 2005. DOI 10.1081/LCSS-200030655. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/LCSS-200030655> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- CARVALHO, Everson Reis; REZENDE, Pedro Milanez de; ANDRADE, Messias José Bastos de; PASSOS, Alexandre Martins Abdão dos; OLIVEIRA, João Almir. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 930–939, dez. 2011. DOI 10.1590/S1806-66902011000400015. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rca/a/br8JNgVYGgMKTF5yf5hjd5Q/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.
- CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral; CALONEGO, Juliano Carlos; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1690–1698, dez. 2011. DOI 10.1590/S0100-

204X2011001200015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/pab/a/TrLZ3dTNSHs9NcsfphC9hMM/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

COSTA, Adriana Monteiro da; BORGES, Elias Nascentes; SILVA, Adriane de Andrade; NOLLA, Antônio; GUIMARÃES, Ednaldo Carvalho. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1991–1998, 2009. DOI 10.1590/S1413-70542009000700050. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/cagro/a/FNH5KXNvzKsStgSn5WxTZ7n/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

COSTA, Falberni de Souza; BAYER, Cimélio; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; FONTOURA, Sandra Mara Vieira. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 281–284, fev. 2004. DOI 10.1590/S0103-84782004000100045. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/cr/a/FkHmZG3T4fz8JHV79ZM4tKk/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 20 jul. 2021.

CRAWFORD, Colin. **Crop and soil systems (crop sector) standard operating procedure water desorption**. Escócia: Scotland's Rural College, 2015.

FERREIRA, Talita Rosas; PIRES, Luiz Fernando; WILDENSCHILD, Dorthe; BRINATTI, André Maurício.; BORGES, Jaqueline Aparecida Ribaski; AULER, André Carlos; DOS REIS, Aline Mari Huff. Lime application effects on soil aggregate properties: Use of the mean weight diameter and synchrotron-based X-ray μ CT techniques. **Geoderma**, v. 338, p. 585–596, 15 mar. 2019. DOI 10.1016/j.geoderma.2018.10.035. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706118309613> . Acesso em: 15 jul. 2021.

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks; BALL, Bruce C.; TORMENA, Cássio Antonio. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 395–403, 2011. DOI 10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>. Acesso em: 15 jul. 2021.

HOLLAND, Jonathan Eddison; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; WHITE, P. J.; MCKENZIE, B. M.; GEORGE, T. S.; PAKEMAN, R. J.; BAILEY, J. S.; FORNARA, D. A.; HAYES, R. C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of The Total Environment**, v. 610–611, p. 316–332, 1 jan. 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717320181> . Acesso em: 15 jul. 2021.

LIMA, Leomar Paulo de. **Avaliação física de um latossolo vermelho textura média, influenciada pela aplicação de dejetos de suínos e cama aviária**. 2007. 184 f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12265> . Acesso em: 15 jul. 2021.

LUNARDI NETO, Antonio; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; ALMEIDA, Jaime Antonio de; MAFRA, Álvaro Luiz; MEDEIROS, João Carlos; ALBERTON, Adálcio. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1379–1388, ago. 2008. DOI 10.1590/S0100-06832008000400002. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/pdnht4XT9QJbkFL7G476NKP/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

MEURER, Egon José. **Fundamentos de química do solo**. 6. ed. Porto Alegre: EVANGRAF, 2015.

MÜLLER, Marcelo Marques Lopes; TORMENA, Cassio Antônio; GENÚ, Aline Marques; KRAMER, Luiz Fernando Machado; MICHALOVICZ, Leandro; CAIRES, Eduardo Fávero. Structural quality of a no-tillage red latosol 50 months after gypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1005–1014, jun. 2012. DOI 10.1590/S0100-06832012000300030. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/y6d9DRXf4kmyzpsJFK7YC4g/?lang=en> . Acesso em: 22 jul. 2021.

PIANO, Jeferson Tiago; SEIDEL, Edleusa Pereira. Produtividade de milho, propriedades químicas e físicas de um latossolo influenciadas pelo uso de cama de aviário. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 2, p. 51–62, 19 nov. 2012. DOI 10.18188/sap.v11i2.4508. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/4508> . Acesso em: 15 jul. 2021.

PIRES, André Assis; MONNERAT, Pedro Henrique; MARCIANO, Cláudio Roberto; PINHO, Leandro Glaydson da Rocha; ZAMPIROLI, Poliana Daré; ROSA, Raul Castro Carriello; MUNIZ, Rodrigo Almeida. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1997–2005, 2008. DOI 10.1590/S0100-06832008000500021. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/bzWNZB5b3vGpS6tXRgm5Ljk/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

PIRES, Carlos Augusto Bonini; SILVA, Vanderlei Rodrigues da; BERTOLLO, Altamir Mateus; KOPPE, Ezequiel; CANCIAN, Luciano Campos; LUZ, Felipe Bonini da. Influência da aplicação superficial de calcário e gesso agrícola nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013. Florianópolis: SBCS, 2013. p. 1–4.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computin**. Vienna, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/> . Acesso em: 15 jul. 2021.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis; REINERT, Dalvan. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, 1 jan. 2007.

SANTOS, Igor de Moraes dos; LORENZON, Kayane; TREVISAN, Rodrigo Gonçalves; TORRES, Gabriel Casagrande; BRENDA, Carlos Cesar; FREDDI, Onã da Silva. Fertilização com dejetos suínos: alterações físicas no solo e a produtividade de soja na região norte de Mato Grosso. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013. Florianópolis: [s. n.], 2013. p. 1–4.

SILVA, Marcio Silveira da. **Efeitos de esterco bovino em atributos químicos e físicos do solo, produtividade de milho e créditos de nitrogênio**. 2018. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP, Jaboticabal, 2018.

SILVA, Thais R. da; MENEZES, June F. S.; SIMON, Gustavo A.; ASSIS, Renato L. de; SANTOS, Catarina J. de L.; GOMES, Graciely V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 903–910, set. 2011. DOI 10.1590/S1415-43662011000900005. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbeaa/a/WTyB9MdmgNFhKFSfMYS6jvg/?lang=pt> . Acesso em: 11 ago. 2021.

SIMEPAR. SIMEPAR - Página Inicial. 07 2021. **Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná**. Disponível em: <http://www.simepar.br/prognozweb/simepar>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SINDIAVIPAR. **Avicultura paranaense atinge crescimento acima de 6% na produção anual**. 6 mar. 2020. **Sindiavipar**. Disponível em: <https://sindiavipar.com.br/blog/2020/03/06/avicultura-paranaense-crescimento-producao-anual/> . Acesso em: 11 ago. 2021.

SOUZA, Felipe Gomes de. **Avaliação Visual do Solo em Diferentes Sistemas de Manejos com Mudras Pré-Brotadas de Cana -de-Açúcar**. Piracicaba: Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, 2019.

SPERA, Silvio Tulio; DENARDIN, José Eloir; ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella; SANTOS, Henrique Pereira dos; FIGUEROA, Enrique Alberto. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2613–2620, dez. 2008. DOI 10.1590/S0100-06832008000700002. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/6cY7FdxWbQ3d7M5wGLnfNSM/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

TAVARES FILHO, João; BARBOSA, Graziela Moraes de Césare; RIBON, Adriana Aparecida. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1527–1534, out. 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000500005. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/gz6rLwbYM86wrHNLp4Xf75D/?lang=en> . Acesso em: 15 jul. 2021.

TORMENA, Cássio Antonio; ROLOFF, Glaucio; SÁ, João Carlos de Moraes. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301–309, jun. 1998. DOI 10.1590/S0100-06831998000200016. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/rbcs/a/Jcjq7JXCGMmL7pdZKyvk6xt/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 15 jul. 2021.

YING, Zi; CUI, Yu-Jun; BENAHMED, Nadia; DUC, Myriam. Changes in microstructure and water retention property of a lime-treated saline soil during curing. **Acta Geotechnica**, 5 maio 2021. DOI 10.1007/s11440-021-01218-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11440-021-01218-5> . Acesso em: 15 jul. 2021.