



**Propriedades físicas do solo fertilizado com lodo de esgoto**

**Physical properties of soil fertilized with sewage sludge**

**Propiedades físicas del suelo fertilizado con lodos de depuradora**

DOI: 10.55905/revconv.17n.13-141

Originals received: 11/08/2024

Acceptance for publication: 12/02/2024

**Erika Aparecida Ferreira Barbosa**

Graduanda em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: aparecida1806@ufmg.br

**Regynaldo Arruda Sampaio**

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: rsampaio@ica.ufmg.br

**Luiz Arnaldo Fernandes**

Pós-Doutor em Química do Solo

Instituição: Universidade da Califórnia

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: larnaldo@ufmg.br

**Karla Daniele Durães Silva**

Graduada em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: karladani31@hotmail.com

**Kaio Pereira Carvalho**

Graduado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: kaiocarvalho380@yahoo.com.br

**Márcio Neves Rodrigues**

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil

E-mail: marcionrodrigues@gmail.com



**Lucas Barbosa Viana**

Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental  
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais  
Endereço: Montes Claros – Minas Gerais, Brasil  
E-mail: lucasbarbosa580@gmail.com

## RESUMO

O emprego do lodo de esgoto (LE) doméstico como fertilizante orgânico é uma opção para melhoria das propriedades físicas do solo. No entanto, a aplicação desse resíduo pode proporcionar efeitos positivos, insignificantes ou negativos nestes atributos, sendo necessária a investigação em diferentes condições experimentais. Assim, visou-se com esse trabalho avaliar o efeito do LE associado a fertilizantes minerais nos atributos físicos do Cambissolo Hápico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se seis tratamentos que envolveram a adubação a base de lodo de esgoto associado com cloreto de potássio e/ou calcário dolomítico e tratamento apenas com fertilizante mineral (NPK+C). Os atributos estudados foram: pH em água, matéria orgânica (MO) do solo, argila dispersa em água (ADA), argila dispersa (AD), grau de floculação (GF) e grau de dispersão (GD) de argilas, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG). O pH do solo foi menor nos tratamentos a base de lodo de esgoto, mesmo com a calagem. Enquanto o teor de MO foi menor no tratamento com NPK+C. O tratamento com adubação mineral apresentou os maiores valores de argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão de argilas (GD), conseqüentemente menor valor de grau de floculação (GF) em relação aos tratamentos adubados com lodo de esgoto e testemunha, que não diferiram entre si. Não houve diferença para estabilidade dos agregados via úmida e seca entre os tratamentos.

**Palavras-chave:** lodo, solo, física, atributos, fertilidade.

## ABSTRACT

The use of domestic sewage sludge (SS) as organic fertilizer is an option for improving soil physical properties. However, the application of this residue can provide positive, insignificant or negative effects on these attributes, requiring investigation under different experimental conditions. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of SS associated with mineral fertilizers on the physical attributes of the Cambisol Halpico. The experiment was conducted in a greenhouse using six treatments that involved fertilization based on sewage sludge associated with potassium chloride and/or dolomitic limestone and treatment only with mineral fertilizer (NPK+C). The attributes studied were: pH in water, soil organic matter (OM), clay dispersed in water (CDW), dispersed clay (DC), degree of flocculation (DF) and degree of dispersion (DD) of clays, weighted mean diameter (WMD) and geometric mean diameter (GMD). Soil pH was lower in the treatments based on sewage sludge, even with liming. While the OM content was lower in the treatment with NPK+C. The treatment with mineral fertilizer presented the highest values of water-dispersed clay (WDC) and degree of clay dispersion (DD), consequently a lower value of degree of flocculation (DF) in relation to the treatments fertilized with sewage sludge and control, which did not differ from each other. There was no difference in the stability of the aggregates in the wet and dry conditions between the treatments.

**Keywords:** sludge, soil, physics, attributes, fertility.



## RESUMEN

El uso de lodos de depuradora (LD) domésticos como fertilizante orgánico es una opción para mejorar las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, la aplicación de este residuo puede proporcionar efectos positivos, insignificantes o negativos sobre estos atributos, requiriendo investigación en diferentes condiciones experimentales. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de LD asociado a fertilizantes minerales sobre los atributos físicos de Cambissolo Halpico. El experimento se realizó en invernadero utilizando seis tratamientos que involucraron fertilización a base de lodos de depuradora asociados a cloruro de potasio y/o caliza dolomítica y tratamiento únicamente con fertilizante mineral (NPK+C). Los atributos estudiados fueron: pH en agua, materia orgánica del suelo (MO), arcilla dispersada en agua (ADA), arcilla dispersa (AD), grado de floculación (GF) y grado de dispersión (GD) de las arcillas, diámetro promedio ponderado (DPP) y diámetro medio geométrico (GMD). El pH del suelo fue más bajo en los tratamientos basados en lodos de depuradora, incluso con el encalado. Mientras que el contenido de MO fue menor en el tratamiento NPK+C. El tratamiento con fertilización mineral presentó los mayores valores de arcilla dispersada en agua (ADA) y grado de dispersión de arcilla (GD), en consecuencia menor valor de grado de floculación (GF) en relación a los tratamientos fertilizados con lodos de depuradora y control, los cuales no se diferenciaban entre sí. No hubo diferencias en la estabilidad de los agregados húmedos y secos entre los tratamientos.

**Palabras clave:** lodo, suelo, físico, atributos, fertilidad.

## 1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto (LE) é um subproduto do tratamento de águas residuárias, cuja produção se acentua gradualmente devido à rápida industrialização e o crescimento dos centros urbanos. Esse resíduo é rico em matéria orgânica, nutrientes, substâncias tóxicas e microrganismos potencialmente patogênicos, fatores que dificultam a disposição final do lodo de esgoto, principalmente devido a sua capacidade em provocar poluição ambiental.

O emprego do lodo de esgoto como fertilizante orgânico é uma opção para melhorar os atributos do solo, em função da sua alta concentração de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o desenvolvimento dos vegetais (nitrogênio (N), fósforo (P), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e molibdênio (Mo)). Assim, a aplicação do LE como condicionante de solos agrícolas é capaz de substituir e/ou reduzir o custo com fertilizantes fosfatados e nitrogenado, por exemplo (Dhanker *et al.*, 2021).

A adição de matéria orgânica via lodo de esgoto contribui para a estruturação do solo, favorecendo a aeração e permeabilidade desse meio. Sampaio *et al.* (2012), em 6 meses após a aplicação de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo em uma área degradada de Neossolo Quartzarênico, verificaram o



aumento da porosidade total e quantidade de macro e microporosidade do solo, além da elevação do teor de água retido nesse meio. De modo semelhante, Maria, Kocssi e Dechen (2007), testando o efeito desse biossólido em aplicações por dois anos, obtiveram resultados favoráveis para a agregação do solo na camada superficial (0 – 0,10 m).

No entanto, a aplicação prolongada e intensiva desse resíduo não proporcionou efeitos significativos em alguns experimentos. Isso pode estar relacionado às condições tropicais do Brasil, à irrigação e aos tratos culturais do solo em sistemas agrícolas. Fatores que podem favorecer a rápida mineralização da matéria orgânica desse meio, reduzindo o efeito da mesma sobre os atributos físicos do solo.

De acordo com Camilotti *et al.* (2010), a aplicação de um total de 39 e 51 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto ao longo do cultivo de cana-de-açúcar não influenciou o grau de flocculação de argilas, tampouco contribuiu para o acúmulo de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso. Maio *et al.* (2011) também não verificaram diferença em relação a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto para os parâmetros: porosidade total, densidade aparente e de partícula, grau de dispersão, grau de flocculação, índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico e ponderado dos agregados.

Nesse sentido, dada a importância da destinação correta do lodo de esgoto, sua potencialidade de aplicação na produção agrícola e florestal e os efeitos positivos ou insignificantes associados à aplicação do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, torna-se necessário a realização de investigações em diferentes condições experimentais de clima, solo, tratos culturais e adubação complementar. Assim, visou-se com esse trabalho avaliar o efeito do lodo de esgoto doméstico associado a fertilizantes minerais nos atributos físicos do Cambissolo Hálpico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O tratamento de águas residuárias é indispensável para a manutenção da sanidade ambiental e humana. O resultado desse processo é a geração do lodo de esgoto (LE), cuja eliminação é uma dificuldade enfrentada mundialmente.



## 2.1 USO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA

Dentre as diversas alternativas para o descarte do lodo de esgoto, a agricultura tem se tornado a mais convincente, visto que o lodo é rico em matéria orgânica e nutrientes para as plantas. No entanto, esse resíduo também apresenta em sua composição grande quantidade de microrganismos patogênicos e elementos tóxicos prejudiciais para o solo, plantas e organismos.

O lodo de esgoto é fonte de metais potencialmente tóxicos, amplamente referidos por metais pesados, como cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd), molibdênio (Mo), mercúrio (Hg), selênio (Se) e cromo (Cr). O descarte inadequado desse resíduo, bem como seu uso agrícola, são fatores agravantes para o acúmulo desses elementos no solo, provocando toxicidade para os microrganismos e para as plantas (Dhanker *et al.*, 2021).

No Brasil a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina as características e a classificação do lodo de esgoto destinados a aplicação na agricultura. Assim como, os teores máximos permitidos das substâncias químicas nesse resíduo e os critérios para determinação da dose aplicada no solo.

A dose de lodo de esgoto aplicado em solos agrícolas, pode-se calcular com base nos seguintes critérios: (a) na quantidade de nitrogênio demandado pela cultura e teor de N no resíduo; (b) poder de neutralização do biossólido; (c) quantidade de metais pesados presentes no lodo; (d) teor de matéria orgânica presente no lodo e no solo (CONAMA, 2020).

Uma vez que a dose aplicada em áreas agrícolas geralmente é calculada de acordo com os teores de N no lodo, pode haver o acúmulo de metais pesados nesse meio. Galdo, Maria e Camargo (2004) verificaram aumento nos teores de Cu, Ni e Zn nas camadas de 0 a 0,20 m com aplicações sucessivas do lodo de esgoto em Latossolo Vermelho eutrófico. Dhanker *et al.*, 2021 também observaram que a adição de doses crescentes de lodo de esgoto em solo arenoso promoveu aumento no teor de Cd, Ni, Pb, Cr e Cu. Estes estudos demonstram a importância do monitoramento a longo prazo das quantidades de metais pesados no solo e a necessidade do uso racional do lodo para a adubação, a fim de se evitar a contaminação desse meio

A resolução do CONAMA, 2020 também determina restrições quanto ao uso do lodo de esgoto em culturas agrícolas. Para culturas alimentícias que não sejam consumidas cruas e produtos não alimentícios, a aplicação do solo deve ser realizada com no mínimo 4 meses de antecedência à colheita. Em árvores frutíferas, a aplicação deve ser realizada após a colheita e



em pastagens, deve-se respeitar o período de no mínimo 2 meses sem pastejo ou colheita da forrageira após a aplicação

### 2.1.1 Influência do lodo de esgoto nos atributos químicos do solo

O lodo de esgoto é rico em nitrogênio, fósforo e micronutrientes essenciais, como Fe, Cu, Mn e Zn. Assim, a aplicação desse resíduo possui o potencial de melhorar a fertilidade do solo, isso quando bem manejado e aplicado conforme a legislação estabelecida, evitando a lixiviação excessiva de nitrato e acúmulo de metais pesados no solo. Desta forma, o uso LE na adubação do solo pode reduzir o custo de produção, diminuindo a aplicação de fertilizantes minerais (Lobo *et al.*, 2013).

Diversos trabalhos evidenciam o efeito do lodo de esgoto sobre as propriedades químicas do solo, sendo que o nitrogênio e fósforo presentes nesse resíduo podem atuar benéficamente nesse meio. Galdo, Maria e Camargo (2004) observaram aumento no teor de fósforo disponível na camada superficial do Latossolo Vermelho após a aplicação de 10,8 e 21,6 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Os autores também verificaram que o P ligado a óxidos de Al e Fe foi mais elevado nesses tratamentos. Ou seja, embora o lodo de esgoto seja importante para o fornecimento de fósforo para as culturas, essa disponibilidade é rapidamente reduzida pela interação com os componentes do solo.

Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008), avaliando o efeito da adubação a base de lodo de esgoto e fertilizante nitrogenado em dois anos de cultivo de cana-de-açúcar, observaram o aumento no teor de P nas plantas para os tratamentos que receberam esse biossólido. Bonini, Alves e Montanari (2015), avaliando a adubação a base de lodo de esgoto em Latossolo Vermelho degradado, obtiveram aumento nos teores de P nas camadas de 0 a 0,40 m para os tratamentos que receberam o resíduo (30 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>).

Lobo *et al.* (2013), com a aplicações sucessivas de doses de lodo de esgoto no solo, verificaram aumento nos teores dos micronutrientes B, Zn, Fe, Mn e Cu nesse meio. Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008) também observaram elevação dos teores de Fe, Zn e Mn no solo tratado com LE. Enquanto Galdo, Maria e Camargo (2004) também verificaram aumento na quantidade de metais (Cu, Ni e Zn) na camada de 0 a 0,20 m com aplicações de lodo de esgoto.



### 2.1.2 Influência do lodo de esgoto nos atributos físicos do solo

A matéria orgânica presente no lodo de esgoto é capaz de atuar positivamente no processo de estruturação do solo. Entretanto, a quantidade do resíduo aplicada em solos agrícolas é restringida pelo teor de N exigido pela cultura, sendo que a taxa de aplicação no solo geralmente é menor que a quantidade necessária para alteração nas propriedades físicas nesse meio (Maria *et al.*, 2010).

Assim, muitos autores, em pesquisas sobre a influência da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo, não verificaram diferenças significativas entre os tratamentos. Por exemplo, segundo Maio *et al.* (2011), testando a aplicação de lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio nos atributos físicos do solo, não houve diferença para: densidade aparente e de partícula; porosidade total; grau de floculação e grau de dispersão de argilas; índice de estabilidade de agregados secos e diâmetro médio ponderado (DMP) úmido.

Nesse sentido, estes autores concluíram que, como o lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica facilmente mineralizável, o efeito sobre os atributos físicos é significativo apenas em aplicações sistemáticas a longo prazo. No entanto, Maria *et al.* (2010), em experimento para avaliar a qualidade física do solo após a aplicação de lodo de esgoto por seis anos consecutivos, não obtiveram efeito significativo para a permeabilidade, porosidade e índice S do solo nos tratamentos com adição do resíduo.

A ação antagonista da matéria orgânica do solo, ora estruturando, ora desestabilizando a agregação desse meio, pode estar relacionada a elevação da concentração de ácido húmico, que atua também na desestruturação dos agregados, provocando a dispersão das argilas. O ácido húmico interage com os cátions polivalentes dos retículos cristalinos das argilas, separando a ligação entre as argilas e a matéria orgânica, o que causa o deslocamento das argilas (Filizola *et al.*, 2006).

Maria, Kocssi e Dechen (2007) testaram o efeito do lodo de esgoto em Latossolo Vermelho com aplicações em dois anos consecutivos, em duas doses: 10 Mg ha<sup>-1</sup> e 20 Mg ha<sup>-1</sup>. Estes autores obtiveram resultados favoráveis para agregação do solo, com efeitos significativos para o diâmetro médio ponderado e geométrico dos agregados da camada superficial (0 – 0,10 m). De modo semelhante, Maio *et al.* (2011) verificaram que o índice de estabilidade de agregados em água do Cambissolo Hálpico foi mais elevado quando houve aplicação de maiores



doses do LE.

De acordo com Sampaio *et al.* (2012), a aplicação de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em um Neossolo Quartzarenico, em 6 meses, é capaz de aumentar a porosidade total e quantidade de macro e microporos do solo. Além disso, os autores também verificaram a formação de agregados maiores, 12 meses após a aplicação do lodo de esgoto. Por outro lado, Filizola *et al.* (2006) verificaram efeito deletério do lodo de esgoto sobre a estrutura de um Latossolo cultivado com milho: o aumento da dose reduziu o DMP dos solos tratados com lodo de esgoto.

### 3 METODOLOGIA

O experimento descrito nesse artigo foi conduzido em casa de vegetação no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais - ICA/UFMG, localizado no município de Montes Claros – MG. Classificação climática de Köppen de Aw (clima de savana tropical).

O Cambissolo Hálpico empregado no trabalho foi obtido na própria instituição, o qual apresenta as seguintes características físicas, determinadas conforme Teixeira *et al.*, (2017): 1,59 dag kg<sup>-1</sup> de matéria orgânicas; 90 dag kg<sup>-1</sup> de areia grossa; 22,10 dag kg<sup>-1</sup> de areia fina; 28 dag kg<sup>-1</sup> de silte e 48 dag kg<sup>-1</sup> de argila. Os resultados da análise química desse solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Atributos químico do Cambissolo Hálpico.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	MOS
	--mg dm <sup>-3</sup> --				----- cmole dm <sup>-3</sup> -----					----- %-----	
5,0	1,2	63,9	1,37	0,53	4,30	7,00	2,00	6,36	9,10	23,70	1,60

Fonte: Autores

O lodo de esgoto foi obtido na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Montes Claros. As características químicas foram determinadas conforme Tedesco *et al.* (1995): N (determinado pelo método de Kjeldahl) = 28,56 g kg<sup>-1</sup>; N-NH<sub>3</sub> = 0,54 g kg<sup>-1</sup>; N-NH<sub>3</sub>+N-NO<sub>2</sub> = 1,03 g kg<sup>-1</sup>; N disponível: 14,80 g kg<sup>-1</sup>. A quantidade do resíduo empregada para a adubação foi determinada com base na demanda de nitrogênio para a cultura do feijoeiro.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, empregando-se vasos com capacidade para 3,2 dm<sup>3</sup>. Após a coleta do solo, este foi peneirado em peneira de malha de 2 mm e mantidos à sombra para secagem. Após aplicação dos adubos e do lodo de esgoto, o solo foi



umedecido à capacidade de campo e incubados por 30 dias. Após esse período, realizou-se a semeadura do feijão.

Foi empregado o delineamento experimental em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, constituídos da seguinte maneira: T1: solo não adubado; T2: solo adubado com lodo de esgoto; T3: solo adubado com lodo de esgoto e dose de calcário dolomítico; T4: solo adubado com lodo de esgoto e cloreto de potássio; T5: solo adubado com lodo de esgoto, calcário dolomítico e cloreto de potássio; T6: solo adubado com NPK e calcário dolomítico. Sendo que no T6 foram realizadas adubações de cobertura com ureia.

O solo foi coletado para análises químicas e físicas após a colheita das plantas. Os atributos químicos, pH em água e matéria orgânica do solo foram determinados conforme Teixeira *et al.* (2017). Os atributos analisados foram argila dispersa em água (ADA), argila dispersa (AD), grau de floculação (GF) e grau de dispersão (GD) de argilas e estabilidade de agregados em água e a seco.

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada pelo método da pipeta, conforme a metodologia descrita por Donagemma e Viana, 2017. O grau de floculação (GF) foi determinado através da fórmula:  $GF (\%) = 100 - \text{argila dispersa}$ . A argila dispersa em água (ADA), foi obtida da seguinte maneira:  $ADA (g\ kg^{-1}) = (\text{massa seca de argila dispersa em água (g)} / \text{massa seca do solo (kg)})$ . O grau de dispersão (GD):  $GD (\%) = (\text{massa seca de argila dispersa em água (g)} / \text{massa total de argila do solo (g)}) \times 100$ .

A estabilidade de agregados foi determinada por meio do peneiramento a seco e em água. No peneiramento em água, o solo retido em peneira de malha de 2 mm é colocado sobre um conjunto de peneiras de 2; 1; 0.5; 0.25 e 0.106 mm e umedecido lentamente através da capilaridade. As peneiras foram colocadas no equipamento agitador para separação de agregados de solo, tipo Yoder, o qual foi preenchido com água de modo que estas permanecessem submersas durante a agitação. As peneiras foram submetidas a uma frequência de 32 agitações por minuto, por 5 minutos. Após esse período, o solo foi depositado em latas de alumínio e levados para secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.

No procedimento a seco, foi utilizado um equipamento de agitação de peneiras. O solo retido em peneira de malha de 2 mm foi colocado sobre um conjunto de peneiras de 2; 1; 0.5; 0.25 e 0.106 mm e submetido a agitação no equipamento por 15 minutos. Após esse tempo, o solo foi depositado em latas de alumínio e seco em estufa a 105 °C por 24 horas. O cálculo do



diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) permitiram a determinação da estabilidade de agregados pelo método da via úmida e seca. Estes parâmetros são obtidos pelas seguintes fórmulas matemáticas, de acordo com Madari (2004):

$$DMP = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad (1)$$

$$DMG = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n W_i \times \log X_i}{\sum_{i=1}^n W_i}\right) \quad (2)$$

onde:

$W_i$  = proporção de cada classe de agregados em relação ao total;

$X_i$  = diâmetro médio de cada classe de agregados.

Os dados foram submetidos a análise de variância e, quando significativo, os tratamentos foram comparados pelo teste de Scott-Knott e Tukey a um nível de 5% de significância. Foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas. O programa estatístico utilizado foi o R Studio.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

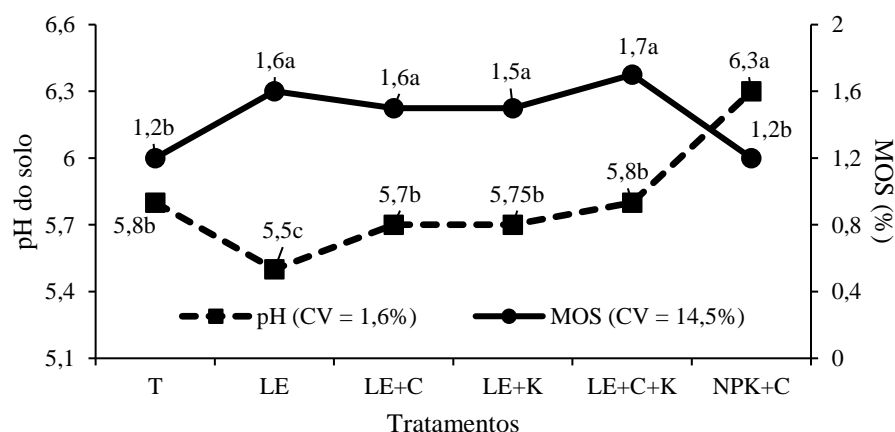
De acordo com a análise de solo realizada após o cultivo do feijoeiro, a acidez ativa (pH) foi maior no tratamento com fertilizantes mineral (NPK), seguida pelos tratamentos lodo de esgoto, calagem e cloreto de potássio (LE-C+K), lodo de esgoto e potássio (LE+K), lodo de esgoto e calagem (LE+C) e lodo de esgoto, nessa sequência (Figura 1). O pH do solo do tratamento testemunha foi menor que os valores dos demais tratamentos em função do solo utilizado ser naturalmente ácido (Tabela 1).

Os menores valores de pH nos tratamentos com lodo de esgoto, mesmo nos tratamentos com calagem podem ser explicados pela mineralização dos compostos orgânicos. Durante a mineralização, é produzido gás carbônico, com potencial para acidificar o solo ( $CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$ ), o nitrogênio orgânico é convertido em amônio e em seguida em nitrato pelo processo de nitrificação (Bissani; Ernani, 2022). A nitrificação é a transformação do amônio



( $\text{NH}_4^+$ ) em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) pelos microrganismos, com conseqüente acidificação do solo ( $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+$ ) (Cantarella, 2007). Além do gás carbônico e nitrogênio, o enxofre, na forma de sulfato também pode contribuir para reduzir o pH pela formação de ácido sulfúrico, por meio dos microrganismos do solo, como *Thiobacillus* (Stamford *et al.*, 2002) e *Acidithiobacillus* (Stamford *et al.*, 2007). De acordo com essa hipótese o efeito acidificante da mineralização do lodo de esgoto sobrepõe o do corretivo da acidez do solo.

Figura 1 – Acidez ativa (pH) e matéria orgânica do solo (MOS) nos tratamentos com testemunha (T), adubação com lodo de esgoto (LE), adubação com lodo de esgoto e calagem (LE+C), adubação com lodo de esgoto e cloreto de potássio (LE+K), adubação com lodo de esgoto, calagem e cloreto de potássio (LE+C+K) e adubação com fertilizante mineral NPK e calagem (NPK+C). Medias seguidas das mesmas letras na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a um nível de 5% de significância.



Fonte: Autores

Os fertilizantes minerais, principalmente nitrogenados e potássicos, possuem potencial para a acidificar o solo. A ureia presente nos adubos formulados, após o processo de mineralização mediada pela enzima uréase, converte em amônio e, em seguida, em nitrato, causando acidificação do solo (Cantarella, 2007), conforme discutido para a mineralização do nitrogênio presente no lodo de esgoto. Em relação aos fertilizantes potássicos, o cloreto de potássio (KCl), é um sal solúvel com caráter ácido que, ao reagir com água dissociam-se totalmente, promovendo a hidrólise do cátion e produz íons de  $\text{H}_3\text{O}^+$  (aq), tornando a solução ácida, uma vez que o  $\text{K}^+$ (aq) em solução aquosa se comporta como ácido de Lewis (Wulfsberg, 1987), espécie capaz de receber par de elétrons. O cátion potássio ( $\text{K}^+$ ) pode ainda deslocar hidrogênio dos coloides do solo e causar um aumento da acidez livre (Catani; Gallo, 1954). O



ânion cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) em solução aquosa tende a permanecer inalterado, uma vez que originalmente são oriundos ácidos fortes, ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) (Wulfsberg, 1987). No entanto, no presente estudo, no tratamento NPK+C, o efeito da calagem na correção dos fatores de acidez foi superior ao efeito acidificante do fertilizante mineral NPK (Figura 1).

A matéria orgânica do solo (MOS) foi menor no tratamento NPK+C (Figura 1), provavelmente pelo favorecimento da mineração dos compostos orgânicos, tanto do adubo mineral, como fontes de nutrientes para os microrganismos, quanto pela calagem, ao elevar o pH do solo. A adição de fertilizante NPK diminui a relação carbono/nutrientes do solo favorecendo a oxidação da matéria orgânica do solo, com consequente emissão de gás carbônico para atmosfera (Silva; Mendonça, 2007). Já a calagem, além de adicionar cálcio e magnésio e, consequentemente diminuir as relações carbono/cálcio e carbono/magnésio, elevou o pH para próximo do neutro, o que favorece a atividade dos microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como substratos em seu metabolismo para a produção de energia (Moreira; Siqueira, 2010). Dessa forma, os valores mais elevados no tratamento testemunha e nos tratamentos com lodo de esgoto, se justificam pela baixa mineralização da MOS, no tratamento testemunha e na adição de matéria orgânica pelo lodo de esgoto. Nos tratamentos com lodo de esgoto, apesar da calagem e adição de potássio, a matéria orgânica adicionada via lodo de esgoto compensou as perdas de carbono pelo processo de mineralização.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os atributos pH, matéria orgânica do solo (MOS), argila dispersa em água (ADA), graus de dispersão (GD) e grau de floculação (GF).

	pH	MOS	ADA	GD	GF
pH	1,00				
MOS	-0,65*	1,00			
ADA	0,99*	-0,78*	1,00		
GD	0,97*	-0,79*	0,99*	1,00	
GF	-0,97*	-0,79*	-0,99*	-0,99*	1,00

\* Significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste t.

Fonte: Autores

A matéria orgânica do solo, proveniente da mineralização do lodo de esgoto, além de fontes de nutrientes, contribui para a retenção de nutrientes e melhoria das propriedades físicas, principalmente em condições tropicais onde as atividades dos microrganismos são favorecidas pelas temperaturas mais elevadas e pela água adicionadas às culturas (Maio *et al.*, 2011; Nascimento *et al.*, 2014).



Em relação aos atributos físicos do solo, o tratamento com adubo mineral apresentou os maiores valores de argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão de argilas (GD) e, conseqüentemente menor grau de floculação (GF) (Tabela 3). Esses resultados indicam os nutrientes, na forma iônica, disponibilizados pelo fertilizante mineral, exerceram efeito dispersante, provavelmente pela expansão da dupla camada difusa pela adição de cátions monovalentes, como o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), que, apesar de aumentarem a força iônica da solução, podem contribuir para uma maior dispersão em relação, por exemplo aos cátions bivalentes (Mahanta *et al.*, 2012). De acordo com Arienzo *et al.* (2012), o aumento da concentração de íons monovalentes no complexo de troca do solo contribui para o aumento da espessura da porção difusa da dupla camada elétrica, com conseqüente redução da floculação das partículas, uma vez que dificulta as colisões entre as partículas.

Tabela 3 – Argila dispersa em água (ADA), grau de dispersão (GD) e grau de floculação (GF) das argilas do solo em função dos tratamentos testemunha (T), adubação com lodo de esgoto (LE), adubação com lodo de esgoto e calagem (LE+C), adubação com lodo de esgoto e cloreto de potássio (LE+K), adubação com lodo de esgoto, calagem e cloreto de potássio (LE+C+K) e adubação com fertilizante mineral NPK e calagem (NPK+C).

Tratamentos	ADA	GD	GF
	--- g kg <sup>-1</sup> ---	----- % -----	
T	354,00 b*	65,80 b	34,20 a
LE	325,50 b	60,50 b	39,49 a
LE+C	344,00 b	63,94 b	36,05 a
LE+K	342,50 b	63,66 b	36,33 a
LE+C+K	337,00 b	62,63 b	37,36 a
NPK	400,50 a	74,44 a	25,55 b
CV(%)**	9,20	9,20	17,21

\*Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si, à 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. \*\* Coeficiente de variação.

Fonte: Autores

Por outro lado, os tratamentos com lodo de esgoto apresentaram menores valores de ADA e GD e maiores de GF (Tabela 3). A mineralização do lodo de esgoto pode ter contribuído para a disponibilização de cátions bivalentes, como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), que além de aumentarem a força iônica da solução possuem efeito de contração da dupla camada difusa. Nos tratamentos com lodo de esgoto e calagem, tem-se ainda os efeitos adicionais do cálcio e do magnésio adicionados pelo calcário. Tanto os cátions monovalentes como os compostos orgânicos resultantes da mineralização do lodo de esgoto podem ter anulado o efeito dos cátions bivalentes, resultantes do próprio lodo e do cloreto de potássio.



Nossa hipótese é que o efeito floculante dos compostos orgânicos oriundos da mineralização do lodo de esgoto sobrepuseram os efeitos dispersivos do íon potássio ( $K^+$ ), proveniente do cloreto de potássio, sobre o complexo de troca do solo. A matéria orgânica do solo, resultante da mineralização dos resíduos orgânicos adicionado ao solo, além de aumentar as cargas elétricas negativas (capacidade de troca de cátions do solo), tem um efeitos significativos na agregação e a na estabilidade dos agregados do solo, principalmente quando constituídos de compostos aromáticos resistentes associados com cátions metálicos polivalentes e polímeros fortemente adsorvidos, uma vez os cátions polivalentes são mais eficientes em formar pontes entre dois grupos funcionais carregados negativamente (Silva; Mielniczuk, 1998; Veiga *et al.*, 2009).

Corroborando com essa hipótese, Maio *et al.* (2011) e Maria, Kocssi e Dechen (2007) também relacionaram o aumentou do grau de floculação e a diminuição da argila dispersa em água em solos adubados com doses crescentes de lodo de esgoto a interferência dos cátions, resultados da mineralização do lodo de esgoto, na dupla camada difusa. A dupla camada difusa é superfície com cargas elétricas na fase sólida do solo com íons na fase adjacente, solução do solo (Rheinheimer; Tiecher; Silva, 2022), de modo que, o equilíbrio entre cargas positivas e negativas proporciona a aproximação dos coloides do solo que culmina na floculação das argilas e formação de micro agregado (Portela *et al.*, 2018; Filho; Barbosa; Ribon, 2010). No tratamento testemunha, sem aplicação de fertilizante mineral e lodo de esgoto, os valores de ADA, GD e GF foram semelhantes aos obtidos nos tratamentos com lodo de esgoto, possivelmente por não exercem não alterar a dupla camada difusa do solo (Tabela 2). Dessa forma, a dispersão e a floculação das argilas estão associadas ao balaço entre as cargas negativas e positivas do solo, que por sua vez, está relacionada a textura, mineralogia, a presença de sais (íons) e ao pH do solo (Portela *et al.*, 2018).

Observa-se ainda que nos tratamentos com maiores valores de GF (Tabela 2) apresentaram os menores valores de pH (Figura 1). As cargas na superfície das argilas podem ser avaliadas por meio do potencial zeta, e estão relacionadas aos fenômenos de superfície, como dispersão e floculação, conforme discutido anteriormente (Chorom; Rengasamy, 1995). O potencial zeta pode ser definido como uma medida da magnitude da repulsão ou da atração eletrostática entre as partículas de argila, coloides. Quando o potencial zeta for igual a zero, o ponto de carga zero (PCZ) da partícula de argila é alcançado. No PCZ, o balanço de cargas positivas e



negativas, determinadas por meio de potenciometria, é nulo, ou seja, a quantidade de cargas negativas e cargas positivas são iguais e, ocorre a floculação das argilas. À medida que o valor de PCZ se afasta de zero, aumentam as cargas negativas, o que favorece a repulsão entre as partículas, ou seja, dificulta a floculação (Chorom; Rengasamy, 1995; Nunes *et al.*, 2020).

Dessa forma, os valores mais elevados de pH no tratamento NPK+C (Figura 1) podem ter contribuído para o menor valor de GD obtido nesse tratamento (Tabela 2). Corroborando com esses resultados, verificou-se correlações positivas do pH do solo com a ADA e com o GD, por outro lado, obteve-se correlação negativa do pH do solo com o GF (Tabela 2).

Importante destacar que o desenvolvimento da estrutura do solo inicia-se com o fenômeno da floculação, porém, somente após a ação prolongada da matéria orgânica, é que o solo adquire a estabilidade necessária. No entanto, a quantidade do resíduo aplicada em solos agrícolas é restringida, sendo que a taxa de aplicação no solo geralmente é menor que a quantidade necessária para alteração nas propriedades físicas nesse meio (Maria *et al.*, 2010). Nesse contexto, a adição de resíduos orgânicos, como o lodo de esgoto pode ser uma alternativa para a melhoria da estrutura dos solos agrícolas.

Em relação a estabilidade dos agregados, não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), determinados por via seca e por via úmida (Tabela 3). A estabilidade de agregados é um indicador da resistência do solo à erosão e à pressão mecânica causada pelas práticas de manejo do solo, de modo que, quanto maior for a porcentagem de agregados grandes ( $>0,5\text{mm}$ ), maior será o DMP e, conseqüentemente, maior resistente ao esboroamento e à dispersão. Por outro lado, quanto menor o DMP ( $< 0,5\text{mm}$ ), menor estabilidade de agregados e maior probabilidade de formação de crostas superficiais, que dificulta a permeabilidade do solo e favorece os processos erosivos (Filizola *et al.*, 2007; Maio *et al.*, 2011).



Tabela 4 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), obtidos por via seca e via úmida, em função dos tratamentos testemunha (T), adubação com lodo de esgoto (LE), adubação com lodo de esgoto e calagem (LE+C), adubação com lodo de esgoto e cloreto de potássio (LE+K), adubação com lodo de esgoto, calagem e cloreto de potássio (LE+C+K) e adubação com fertilizante mineral NPK e calagem (NPK+C).

Tratamento	Estabilidade a seco		Estabilidade via úmida	
	DMP	DMG	DMP	DMG
	----- mm -----			
T	1,4411 a*	1,1612 a	0,9217 a	0,8383 a
LE	1,4150 a	1,1542 a	0,8792 a	0,8561 a
LE+C	1,4041 a	1,1555 a	0,8734 a	0,8627 a
LE+K	1,4429 a	1,1670 a	0,8094 a	0,8254 a
LE+C+K	1,4464 a	1,1684 a	0,9155 a	0,8679 a
NPK+C	1,4564 a	1,1717 a	0,9435 a	0,8808 a
CV(%)**	2,53	1,52	10,58	6,47

\*Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

\*\*CV% = Coeficiente de variação.

Fonte: Autores.

A princípio, era esperado maiores valores de DMP e DMG, principalmente nos tratamentos com lodo de esgoto e calagem, haja vista que tanto a matéria orgânica quanto o cálcio e magnésio influenciam na floculação de argilas e a agregação, como discutido anteriormente. Resultados semelhantes forma obtidos por obtidos Maio *et al.* (2011), estudando os efeitos do lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio nos atributos físicos de um Cambissolo Hálpico cultivado com girassol. De acordo com os autores, a baixa quantidade de matéria orgânica adicionada via lodo de esgoto e a baixa solubilização do silicato, são as possíveis explicações para a ausência de efeitos significativos, tanto do lodo quanto do silicato, nos atributos físicos do solo. Além disso, acrescenta-se que no presente estudo não houve diferenças nos teores de MOS entre o tratamento testemunhas e os tratamentos com lodo de esgoto (Figura 1), em função da mineralização dos compostos orgânicos adicionados pelo lodo de esgoto, conforme discutido anteriormente. No contexto de solos agrícolas em regiões tropicais, devido as elevadas temperaturas e umidade, são necessárias doses elevadas contínuas de lodo de esgoto para elevar os teores de MOS e, conseqüente, alterar os atributos físicos do solo (Melo *et al.*, 2004).

#### 4 CONCLUSÕES

A adição de lodo de esgoto proporcionou redução do pH do solo, mesmo com a calagem, o que pode ser explicado pela mineralização de compostos orgânicos do solo e liberação de substâncias acidificantes. A matéria orgânica foi menor no tratamento com NPK+C, favorecido pela mineralização dos compostos orgânicos do solo e do adubo mineral. Enquanto nos



tratamentos com lodo de esgoto, a matéria orgânica adicionada compensou as perdas de carbono. O tratamento com adubação mineral apresentou os maiores valores de argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão de argilas (GD), conseqüentemente menor valor de grau de floculação (GF) em relação aos tratamentos adubados com lodo de esgoto e testemunha, que não diferiram entre si. Não houve diferença entre os tratamentos para a estabilidade de agregados por via úmida e por via seca, fato associado a baixa quantidade de matéria orgânica adicionada e a rápida mineralização de compostos orgânicos do solo.



## REFERÊNCIAS

ARIENZO, M.; CHRISTEN, E.W.; JAYAWARDANE, N.S. & QUAYLE, W.C. The relative effects of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications for winery wastewater management. **Geoderma**, 173-174: 303-310, 2012.

BISSANI, C.A; ERNANI, A. R. AS reações ácido-base do solo. In: **Química do Solo**. Tiecher T, Silva LS, Martins AP, Mallmann FJK, editors. Florianópolis, SC: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2022.

BONINI, C SB; ALVES, M C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 388-393, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/jHB874VBVc6YtBgRNx3SWrd/abstract/?lang=pt>> . Acesso em: 06 ago. 2022.

CAMILOTTI, F. *et al.* Grau de floculação e condutividade hidráulica de um solo tratado com lodo de esgoto e vinhaça. **Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 1, 2010. Disponível em: <<https://citec.fatecjab.edu.br/index.php/citec/article/view/69>> . Acesso em: 28 jul. 2023.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B., NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470

CATANI, R.A.; GALLO, J. R. Efeitos determinados no solo pelo uso contínuo de fertilizantes. **Bragantia**, v.13, n.6, p. 75-83, 1954.

CHIBA, M K; MATTIAZZO, M E; OLIVEIRA, F C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 32. Abr 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/r7DT4jWxWPtnDxP4s9JvbXS/?lang=pt#>> . Acesso em: 05 mai. 2024.

CHOROM, M.; RENGASAMY, P. Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. **European Journal of Soil Science**, v.46, p.657-665, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01362.x>

CONAMA - Concelho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília. 19 ago. 2020. Disponível em: [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=797](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797) . Acesso em: 28 abr. 2024.

DHANKER, R. *et al.* Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101642, 2021. Disponível



em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218642100290X> . Acesso em: 14 abr. 2024.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M. Argila dispersa em água e grau de floculação. In: Teixeira, Paulo César *et al.* (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. Rev. E ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Pt. 1, cap. 11, p. 117-124. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1091343/1/Argiladispersa.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FILHO, J. T.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p. 1527-1534, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/gz6rlwbym86wrhnlp4xf75d/?Lang=en>>. Acesso em: 28 jul. 2023

FILIZOLA, H. F. *et al.* Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129804/1/2006PL-062.pdf> . Acesso em: 06 mai. 2024

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 569-577, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/WRr77wcwzypk4mDGtJvD6th/?format=html> . Acesso em: 19 abr. 2024

MADARI, B. E. Fracionamento de agregados: procedimento para uma estimativa compartimentada do seqüestro de carbono no solo. Comunicado Técnico Embrapa. N, 22. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/965471/1/comtec222004fracionamento.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

MAHANTA, K.K.; MISHRA, G.C., KANSAL, M.L. Estimation of electric double layer thickness from linearized and nonlinear solutions of Poisson -Boltzman equation for single type of ions. **Applied Clay Science**, 59 -60:1 -7, 2012.

MAIO, M. M. *et al.* Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, v. 58, p. 823-830, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/w6Jrf33SpPnGtjC5z3frYpK/?Lang=pt#>>. Acesso em: 11 jul. 2023

MARIA, I. C. *et al.* Aplicação de lodo de esgoto como condicionador de propriedades físicas de um solo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 967-974, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bqhz7jzjblchvxwwtjkhmmp/?Format=pdf>> . Acesso em: 28 abr. 2024.



MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, p. 291-298, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/nfwzmsc7szdqekt859tnkyy/?Lang=pt> . Acesso em: 30 abr. 2024

MELO V. P *et al.* Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:67-72.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 1.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. 729p.

NASCIMENTO, A. L. *et al.* Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/96293653/admin\\_2C\\_17-Agra\\_15142.pdf\\_filename\\_UTF-8admin\\_2C\\_17-Agra\\_15142.pdf](https://www.academia.edu/download/96293653/admin_2C_17-Agra_15142.pdf_filename_UTF-8admin_2C_17-Agra_15142.pdf). Acesso em: 05 mai. 2024.

NUNES, A.L.P.; CORTEZ, G.L. de S.; MELO, T.R.; FIGUEIREDO, A.; WANDSCHEER, C.A.R.; BORTOLUZZI, J.; BROWN, G.G.; BARTZ, M.L.C.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. de F. Farm systems, soil chemical properties, and clay dispersion in watershed areas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, e01279, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01279>.

PORTELA, J. C., *et al.* Argila dispersa em água e grau de floculação em classes de solos. In: **Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 3. 2018. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvagro/uploads/anais/argila-dispersa-em-%c3%81gua-e-grau-de-flocula%c3%87%c3%83o-em-classes-de-solos.pdf> . Acesso em: 28 jul. 2023

RHEINHEIMER D.S.; TIECHER T.; SILVA L.S. As reações de superfície na interface fase sólida-solução do solo. In: **Química do Solo**. Tiecher T, Silva LS, Martins AP, Mallmann FJK, editors. Florianópolis, SC: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2022.

SAMPAIO, T. F. *et al.* Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1637-1645, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/wytb8qtk8hg5kzgrhc3qnkk/?Lang=pt> . Acesso em: 05 mai. 2024.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 311-317, 1998.

SILVA, I.R; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.



STAMFORD, N. P. *et al.* Effect of sulphur inoculated with Thiobacillus on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 139, n. 2, p. 275-281, 2002.

STAMFORD, N. P. *et al.* Effectiveness of sulfur with Acidithiobacillus and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, Amsterdam, v. 23, n. 10, p. 1433-1439, 2007.

TEDESCO J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TEIXEIRA P. C *et al.* Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Aggregate stability as affected by short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources of a Hapludox in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.767-777, 2009.

WULFSBERG, G. **Principles of descriptive inorganic chemistry**, USB, California, USA, 1987.