

Lodo de esgoto como alternativa para fertilização do solo e o estabelecimento de *Urochloa ruziziensis* para a formação de palhada para o plantio direto

Sewage sludge as an alternative for soil fertilization and *Urochloa ruziziensis* establishment for straw formation in no-till planting

Lodo de alcantarillado como alternativa para la fertilización del suelo e establecimiento de *Urochloa ruziziensis* para la formación de paja en siembra directa

DOI: 10.34188/bjaerv8n1-059

Submetido: 02/12/2024

Aprovado: 15/01/2025

Guilherme Caio Araújo

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP. Brasil
E-mail: guilhermeagroaraujo@gmail.com

Leandro Coelho de Araujo

Doutor em Ciência Animal e Pastagens pela Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP. Brasil
E-mail: leandro.araujo@unesp.br

RESUMO

Com o crescimento das grandes cidades e o aumento populacional, há também o aumento na produção de resíduos domésticos e industriais, os quais podem ser utilizados de forma alternativa e sustentável nos sistemas de produção e descarte. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da *Urochloa ruziziensis* em solo fertilizado com lodo de esgoto (LE) visando à produção de palhada para o plantio direto e os teores de macro e micronutrientes na parte aérea. O estudo foi realizado sob casa de vegetação em vasos com 8 dm³ de solo, coletado de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos + 1 controle e 4 repetições. Os tratamentos corresponderam as doses de LE correspondentes 0, 1 (5,71 g dm⁻³ de LE) e 2 vezes (11,42 g dm⁻³ de LE) a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura mais um controle (NPK), simulando uma adubação de fundação com incorporação ao solo. Setenta dias após a germinação do capim foram realizadas as avaliações. Os resultados mostraram que o LE aumentou as concentrações de N, Ca e Mg no solo em comparação ao controle, aumento linear no perfilhamento e até 2,7 vezes mais massa seca de palhada. O uso de LE demonstrou grande potencial como fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo, contudo são necessários mais estudos sobre o uso do LE na agricultura e o desenvolvimento de práticas sustentáveis para sua aplicação e destinação adequada.

Palavras-chave: adubo orgânico, *Brachiaria*, ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

With the growth of large cities and population growth, there is also an increase in the production of domestic and industrial waste, which can be used in an alternative and sustainable way in production and disposal systems. This study aimed to evaluate the performance of *Urochloa ruziziensis* in soil fertilized with sewage sludge (SE) aiming at the production of straw for direct planting and the macro and micronutrient contents in the aerial part. The study was carried out under a greenhouse in pots with 8 dm³ of soil, collected from a dystrophic Red-Yellow Oxisol. A completely randomized design was used with 4 treatments + 1 Control and 4 replications. The treatments corresponded to SE doses corresponding to 0, 1 (5.71 g dm⁻³ of SE) and 2 times (11.42 g dm⁻³ of SE) the amount of nitrogen recommended for the crop and one Control (NPK), simulating foundation fertilization with incorporation into the soil. Seventy days after grass germination, evaluations were carried out. The results showed that SE increased the concentrations of N, Ca and Mg in the soil compared to the Control, a linear increase in tillering and up to 2.7 times more straw dry mass. The use of SE has demonstrated great potential as a source of nutrients and organic matter for the soil, however, more studies are needed on the use of SE in agriculture and the development of sustainable practices for its application and adequate disposal.

Keywords: *Brachiaria*, nutrient cycling, organic fertilizer.

RESUMEN

Con el crecimiento de las grandes ciudades y el crecimiento demográfico, también se produce un aumento en la producción de residuos domésticos e industriales, que pueden ser utilizados de forma alternativa y sostenible en los sistemas de producción y eliminación. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de *Urochloa ruziziensis* en suelo fertilizado con lodos de depuradora (LD) con vistas a la producción de paja para siembra directa y el contenido de macro y micronutrientes en la parte aérea. El estudio se realizó bajo invernadero en macetas con 8 dm³ de suelo, recolectado de un Latosol Rojo-Amarillo Distrófico. Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos + 1 Control y 4 repeticiones. Los tratamientos correspondieron a dosis de LD correspondientes a 0, 1 (5,71 g dm⁻³ de LD) y 2 veces (11,42 g dm⁻³ de LD) la cantidad de nitrógeno recomendada para el cultivo y un Control (npk), simulando una fertilización de base con incorporación al suelo. Setenta días después de la germinación del pasto se realizaron evaluaciones. Los resultados mostraron que le aumentó las concentraciones de N, Ca y Mg en el suelo respecto al Control, un aumento lineal en el macollamiento y hasta 2,7 veces más masa seca de paja. El uso de LD ha demostrado un gran potencial como fuente de nutrientes y materia orgánica para el suelo, sin embargo, se necesitan más estudios sobre el uso de LD en la agricultura y el desarrollo de prácticas sustentables para su aplicación y disposición adecuada.

Palabras clave: abono orgânico, *Brachiaria*, ciclo de nutrientes.

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada tem impulsionado um aumento significativo na produção de esgoto, resultando em uma crescente geração de lodo de esgoto (LE), um subproduto do tratamento de águas residuais. No Brasil, a saturação dos aterros sanitários, especialmente nas grandes cidades, torna a destinação do LE uma questão crítica, sendo necessário buscar alternativas ambientalmente seguras e economicamente viáveis para seu manejo (Ferreira *et al*, 2012). Dentre as alternativas de destinação do LE, destacam-se a disposição em aterros, a incineração, o descarte

no mar e, de forma promissora, a aplicação no solo, seja para fins agrícolas, florestais ou em áreas de recuperação (Matthews, 1992). A utilização do LE como fertilizante pode, assim, contribuir para a sustentabilidade agrícola, pois além de melhorar as características do solo, pode fornecer nutrientes importantes para as plantas, desde que sejam observadas normas ambientais rigorosas para o tratamento do resíduo e minimização dos riscos de contaminação (EPA, 1997).

Apesar da aplicação do LE na agricultura ser um tema controverso devido aos potenciais riscos de contaminação do solo e da cadeia alimentar, especialmente pela acumulação de metais pesados (Ippolito; Barbarick, 2006), nota-se que a interação do LE com a matéria orgânica do solo também tem sido apontada como um fator que pode reduzir a mobilidade de metais tóxicos, como Ba, Cd, Cr e Pb, mitigando os riscos de contaminação (Melo; Marques; Melo, 2001).

Como relatado por Teran *et al.* (2022) o uso de LE demonstrou melhorias significativas no aumento do teor de matéria orgânica, na capacidade de troca catiônica e na saturação por base de solo degradado em áreas de extração de cascalho laterítico, promovendo um ambiente mais fértil e produtivo. Essa melhoria na fertilidade do solo também foi observada por Silva (2017) ao aplicar LE no solo para o cultivo do capim Tifton-85 (*Cynodon* spp.), pois resultou em aumentos significativos na produtividade de massa seca da parte aérea do capim, evidenciando o potencial do LE para melhorar a fertilidade do solo e a produtividade das plantas. Resultados positivos também foram encontrados por Araujo; Gil; Tiritan (2009) ao adubaram a pastagem de *Urochloa decumbens* com LE. Os autores relataram que houve aumento significativo na produção de massa seca da parte aérea, no teor foliar de N e no teor de fósforo no solo.

Na União Europeia, aproximadamente 39% do LE gerado é destinado à agricultura, promovendo melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo (Milieu; WRC; RPA, 2010). No Brasil, a aplicação do LE é regulamentada pela Resolução nº 498 do CONAMA (2020), que estabelece normas para garantir a segurança ambiental e a saúde pública durante o uso desse resíduo. Apesar dessas regulamentações, o Brasil enfrenta um desafio contínuo quanto à destinação adequada do LE, especialmente considerando a dependência do país de fertilizantes minerais importados, o que torna o LE uma alternativa interessante para reduzir a necessidade de adubação mineral na agricultura.

O uso de capins do gênero *Urochloa* no sistema de plantio direto, surge como uma estratégia conservacionista para proteção do solo e recuperação de áreas degradadas, e pode se beneficiar da aplicação de LE. Os capins desse gênero geram palhada, contribuindo para o aumento da matéria orgânica no solo. Conforme relatado por Pariz *et al.* (2011), as características agronômicas e bromatológicas tem feito com que a *U. ruziziensis* ganhasse espaço nas lavouras tornando-se promissora para o sistema plantio direto.

A aplicação do LE pode ser uma ferramenta importante na recuperação de áreas degradadas, desde que seus impactos na fertilidade do solo e no desenvolvimento das plantas sejam devidamente analisados. O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade do uso do LE na fertilização do solo para o cultivo do capim *U. ruziziensis*, focando na produção de palhada e na qualidade do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Engenharia, UNESP - Campus de Ilha Solteira de 10 de janeiro a 30 de agosto de 2018, sob casa de vegetação. O clima local é classificado como tropical com estação seca, Aw (Köppen-Geiger; Alvares *et al.*, 2013), nas coordenadas 20°25'5,3"S, e 51°20'30,6"W e 347 m de altitude.

O solo utilizado nos vasos foi proveniente de um LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO distrófico (Santos *et al.*, 2018), coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, cujos resultados das análises químicas, analisadas conforme Raij *et al.* (2001), correspondeu a: Fósforo: 2 mg dm⁻³, Potássio: 0,4 mmol_c dm⁻³, Magnésio: 8 mmol_c dm⁻³, Cálcio: 10 mmol_c dm⁻³, Hidrogênio + Alumínio: 15 mmol_c dm⁻³, Alumínio: 0 mmol_c dm⁻³, Matéria Orgânica: 15 g dm⁻³; pH (CaCl₂): 5,3; Soma de Bases: 18,4 mmol_c dm⁻³; Enxofre: 4 mg dm⁻³; Boro: 0,08 mg dm⁻³; Cobre: 0,8 mg dm⁻³; Ferro: 19 mg dm⁻³; Manganês: 5,5 mg dm⁻³; Zinco: 0,2 mg dm⁻³; CTC: 33,4 mmol_c dm⁻³ e V: 55%.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três tratamentos + 1 Controle com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam as doses de LE Tipo A de 0, 1 e 2 vezes o teor de N do tratamento Controle, que corresponderam respectivamente a 0, 5,71 e 11,42 g de LE dm⁻³. O tratamento Controle correspondeu a adubação mineral convencional via ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio conforme recomendado por RAIJ *et al.*, 1997.

Os tratamentos foram aplicados simulando uma adubação de fundação com incorporação ao solo. A semeadura da *U. ruzizienses* foi realizada no dia 25/03/2018, em vasos com 8 dm⁻³ de solo, distribuindo-se cinco sementes para cada uma das cinco covas realizando-se um desbaste 10 dias após a germinação com o objetivo de manter quatro plantas por vaso. Os vasos foram irrigados de modo a manter a umidade entre 60% e 70% da capacidade de campo conforme recomendado por Araujo *et al.* (2011).

Todas as coletas de dados foram realizadas 70 dias após a germinação do capim e constaram de contagem de perfilhos vivos e coleta de massa da parte aérea ao nível do solo, que após pesada foi seca em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas, moída a 1 mm e destinada para a determinação de macro e micronutrientes da parte aérea total (Malavolta *et al.*, 1997).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SISVAR (1996) versão 9.0. As significâncias dos parâmetros das equações foram estimadas considerando a probabilidade

5%. Os efeitos das doses do LE foram desdobrados mediante polinômios ortogonais e a comparação destes com o fertilizante NPK e tratamento sem fertilização foi realizada pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

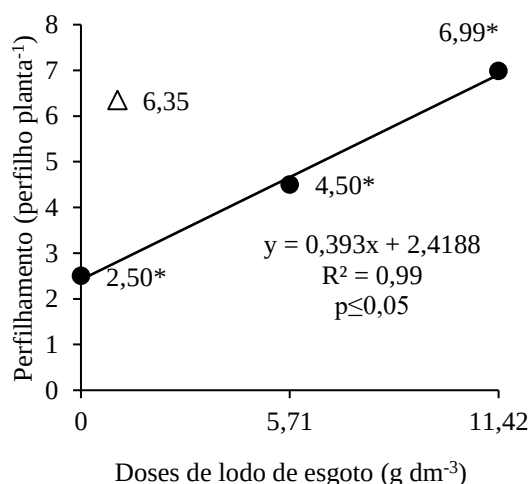
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERFILHAMENTO E PRODUÇÃO DE PALHADA

Observou-se aumento linear ($p \leq 0,05$) no número perfilhos vivos em função do acréscimo de LE (Figura 1) e a dose de $11,42 \text{ g LE dm}^{-3}$ proporcionou perfilhamento superior ao tratamento Controle. A composição do LE, baseada em materiais orgânicos de diversas origens o tornam bastante completo nutricionalmente para manutenção e formação de novos perfilhos. A grande quantidade de macronutrientes, principalmente nitrogênio, e micronutrientes encontrados no LE auxiliam na formação da parte aérea da planta, visto que essa depende de ativadores enzimáticos e enzimas para melhor síntese de tecidos e fixação de carbono.

Apesar do LE apresentar variação nas suas características conforme sua origem, processo de tratamento adotado na Estação de Tratamento de Esgoto, de maneira geral, possui pH próximo à neutralidade teor de carbono orgânico de aproximadamente 30% (base seca), Nitrogênio e Fósforo em altas concentrações, além de também incluir Enxofre, Cálcio, Magnésio e Sódio, dentre outros (Tedesco *et al*, 2008), essenciais para o perfilhamento e acúmulo de massa das plantas forrageiras.

Figura 1. Perfilhamento da *Urochloa ruziziensis* em função do tratamento Controle (triângulo) e de doses do lodo de esgoto (círculo). *médias diferem do tratamento Controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).



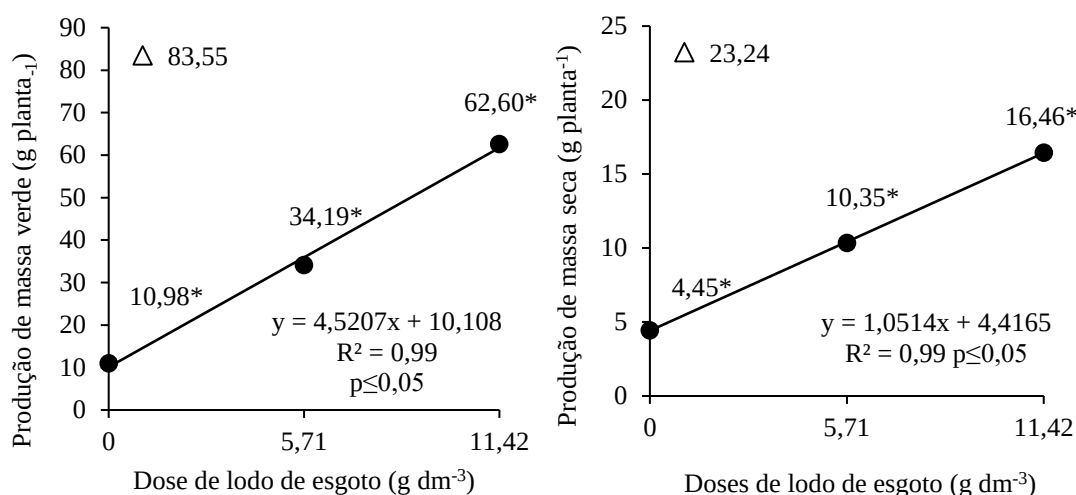
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A produção de palhada do capim foi superior para o tratamento Controle comparado a todas as doses de LE (figura 2). No entanto, comparando entre as doses de LE observou-se um aumentou

linearmente com o aumento das doses de LE ($p \leq 0,05$), sendo que a maior dose de LE aumentou em cinco vezes a produção de massa verde comparado com o tratamento sem LE (Figura 2), fato que se repetiu para a produção de massa seca, porém em menor proporção. Neste experimento foram observados incrementos de massa verde e massa seca de 4,5 e 1,05 g planta⁻¹ respectivamente, para cada 1 g de LE aplicada, no entanto, as maiores produções foram observadas para o tratamento Controle que produziu 33,5 e 41,2% mais massa verde e massa seca que a maior dose de LE, respectivamente (figura 2).

A produção de massa verde é um parâmetro importante para o sistema plantio direto, uma vez que ela define a quantidade de herbicidas dessecantes que devem ser utilizadas antes do estabelecimento da cultura, enquanto a produtividade de massa seca é um importante indicador de carbono orgânico no solo fundamental para a aplicação do sistema de plantio direto.

Figura 2. Produção de massa verde e seca de plantas de *Urochloa ruziziensis* em função do Controle (triângulo) e de doses do lodo de esgoto (círculo). *médias diferem do tratamento Controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).



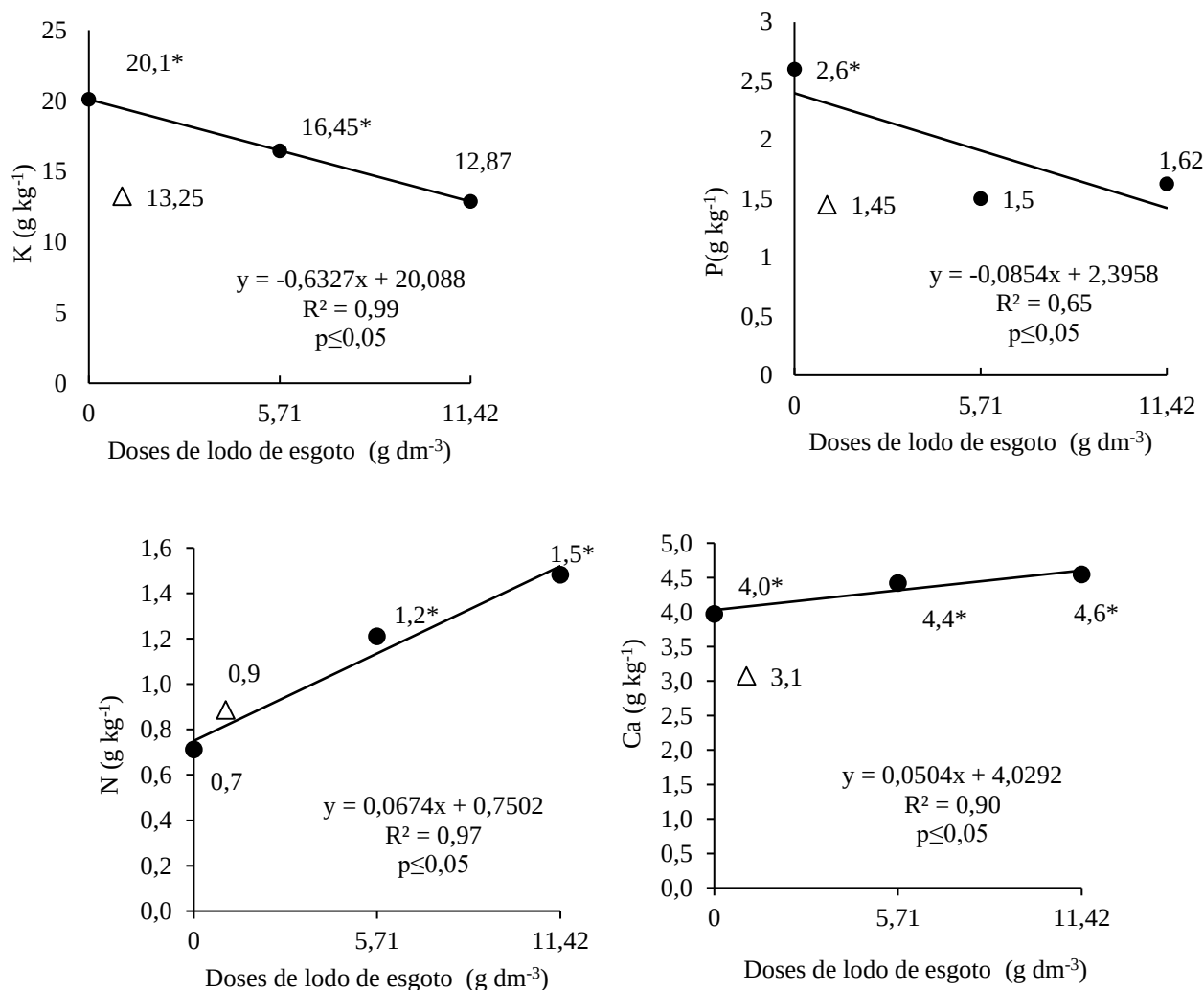
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

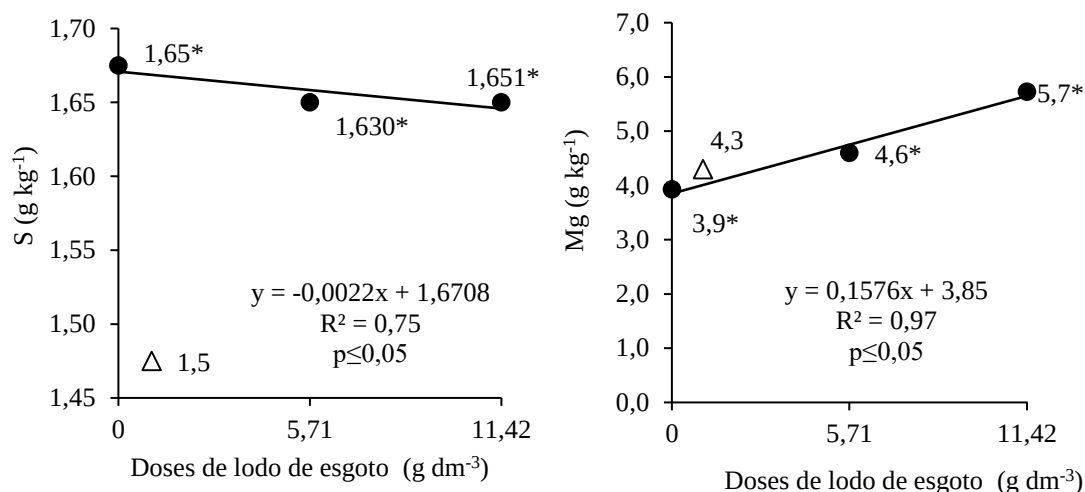
De acordo com a PROSAB (1999), as quantidades de Magnésio e Enxofre presentes no LE são suficientes para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo quando aplicado em pequenas doses. O LE também apresenta em sua composição expressivas quantidades de micronutrientes como Ferro, Zinco e Manganês, além de baixas quantidades de Cobre, Boro, Molibdenio e Cloro. Observa-se que doses de LE são suficientes para suprir as quantidades de Nitrogênio para as culturas e fornecem micronutrientes em quantidades adequadas para suprir a demanda da maioria das plantas (Gomes, 2004), no entanto, a disponibilidade mais acelerada de nutrientes por parte dos adubos minerais proporciona resposta mais rápida das plantas em crescimento enquanto que as fontes orgânicas demandam maior tempo para disponibilizar nutrientes devido à necessidade da mineralização da matéria orgânica por parte dos microrganismos.

3.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DO CAPIM

Os teores de Nitrogênio na parte aérea das plantas apresentaram incremento linear em função das doses de LE ($p < 0,05$) (Figura 3). Isso se deve também ao fato de o resíduo apresentar matéria orgânica composta por N-proteico que em reação com proteases do solo, dá origem a uma mistura de aminoácidos (Burns, 1982) e em seguida por uma série de reações, leva à produção do primeiro composto nitrogenado, na forma mineral (NH_4^+). Em condições tropicais onde se tem altas temperaturas e umidade, a mineralização da matéria orgânica ocorre de maneira mais acelerada devido à grande atividade microbológica que transforma o N orgânico liberando assim compostos minerais prontamente disponíveis para as plantas que compõe o sistema, justificando o incremento na concentração de N em plantas submetidos a sistemas enriquecidos com LE.

Figuras 3. Concentração de macronutrientes na parte aérea de plantas de *Urochloa ruziziensis* em função do tratamento Controle (triângulo) e de doses do lodo de esgoto (círculo). *médias diferem do tratamento Controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).





Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Dentre as diferentes formas do nitrogênio absorvidas pelas plantas, as mais importantes são nítrica e amoniacal. Entretanto, a forma de nitrato é a que predomina durante o processo de absorção, por ser a mais abundante na solução do solo, devido à alta atividade da microbiota do solo, em desenvolver o processo de nitrificação.

A forma de N utilizada nas culturas também pode alterar a absorção de cátions e ânions do solo. Neste sentido, Noller e Rhykerd (1974) em trabalhos com Milho verificaram que ao utilizarem o Nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) observaram aumento no teor de cátions (Ca, Mg e K) e menores de ânions (P e S). Ao passo que a utilização de Nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+), houve maior teor de Fósforo e Enxofre na massa seca das plantas. O comportamento diferenciado para cada forma empregada é devido ao balanço entre cátion e ânion. Salienta-se, ainda, que existe um efeito negativo do NH_4^+ na absorção de outros cátions (Mg^{+2} , K^+ e Ca^{+2}), devido mais ao seu efeito acidificante no citosol, do que a competição pelos sítios de absorção. (Magalhães, 1997).

O Cálcio apresentou aumento significativo na parte aérea da planta em função das doses de LE ($p < 0,05$) (Figura 3). Tal comportamento pode estar associado à concentração desse elemento no resíduo bem como pela alta taxa de aplicação (equivalente a 20 t ha^{-1}), condição a qual expressa aumento significativo na concentração em plantas conforme apontado por Oliveira *et al.* (1995) e Nascimento *et al.* (2004) verificaram aumento significativo e linear na disponibilidade de Cálcio, utilizando doses que variavam de 0 a 60 t ha^{-1} de LE tratado com cal, em dois tipos de solos.

Quanto ao Magnésio, o aumento gradual na sua disponibilidade tem sido observado pela aplicação de LE (Marques *et al.*, 1997). Rocha *et al.* (2004), em experimento com povoamento de Eucalipto fertilizado com LE, observaram aumento significativo do teor de Magnésio disponível no solo somente após 32 meses da aplicação do LE. A aplicação de LE promoveu aumento do teor de Magnésio na folha de Eucalipto (Ribeirinho *et al.*, 2012). Acredita-se que sua maior absorção foi

devida à aplicação na forma de LE, que apresenta melhor disponibilidade do nutriente. Segundo Melo e Marques (2000), estudos demonstraram que a adição de lodo aumenta a concentração de Mg nas folhas de cana-de-açúcar, milho e sorgo.

Os teores de Potássio se apresentaram menores em função das doses de LE. Isso pode estar associado ao efeito diluição uma vez que houve aumento na massa seca da planta e também devido aos baixos teores desse elemento no resíduo. Os resultados corroboram os relatos de outros autores, que afirmam que a utilização do LE na agricultura deve ser acompanhada de complementação potássica (Melo; Marques; Melo *et al.*, 2001; Ribeirinho *et al.*, 2012).

A maior parte do Enxofre do solo é orgânico, portanto, os processos microbiológicos nos solos tornam-se importantes no estudo deste nutriente. Por outro lado, o reservatório de Enxofre do solo é a matéria orgânica. O Enxofre, como o nitrogênio, apresenta muitas transformações no solo por meio principalmente dos microorganismos e, também, do manejo do solo (drenagem, porosidade) que pode alterar a química do elemento (estado de oxidação). Observa-se que a maior parte do enxofre no solo está ligado a um composto orgânico que, por via microbiana, é convertido a formas minerais e, em solos aerados, passa à forma disponível para as plantas (SO_4^{2-}). Em solos com adições de sulfato, seja pelo processo da mineralização, seja da adubação (superfossato simples, sulfato de amônio), como no presente trabalho, e gessagem (sulfato de cálcio), o nutriente, por apresentar alta mobilidade no solo, pode apresentar perdas consideráveis por lixiviação. Tal explanação auxilia nas considerações para o comportamento expresso pelo enxofre em função das doses de LE. Em relação ao tratamento controle onde não foram adicionadas fontes orgânicas de fertilização, os teores de enxofre foram menores que nos tratamentos com uso de LE, que por sua vez ficaram próximos entre si devido ao efeito diluição.

O Fósforo oriundo da fração orgânica só se tornará disponível quando os microrganismos do solo mineralizam a matéria orgânica, liberando os íons fosfato inorgânico (Fósforo disponível). No solo, 20 a 80% do Fósforo total encontra-se na forma orgânica, principalmente como fitato (Raghothama, 1999). Vários autores relataram que a aplicação de lodo de esgoto foi capaz de aumentar o Fósforo disponível no solo (Sui; Thompson 2000; Bramryd 2001; Simonete *et al.*, 2003). A adição de material orgânico ao solo promove aumento na disponibilidade de fósforo, pela liberação deste elemento durante o processo de mineralização; dissolução de fosfatos insolúveis em água, devido à ação do ácido carbônico formado pela reação da água com o CO_2 proveniente da decomposição do material orgânico; formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis; formação de fosfatos orgânicos mais fracamente retidos no solo; e revestimento superficial das partículas de argila, evitando o contato direto das mesmas com o fosfato (Oliveira *et al.*, 1995, Marques *et al.*, 1997).

Acrescenta-se que a decomposição do LE produz agentes complexantes que facilitam a movimentação de fosfatos combinados com Ferro e Alumínio, além de permitir melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, em decorrência da lenta liberação dos mesmos, pelo processo de mineralização da matéria orgânica (Oliveira *et al*, 1995, Marques *et al*, 1997). No entanto, são necessárias sucessivas aplicações de LE para que se tenha tal comportamento do elemento (Ribeirinho *et al*, 2012).

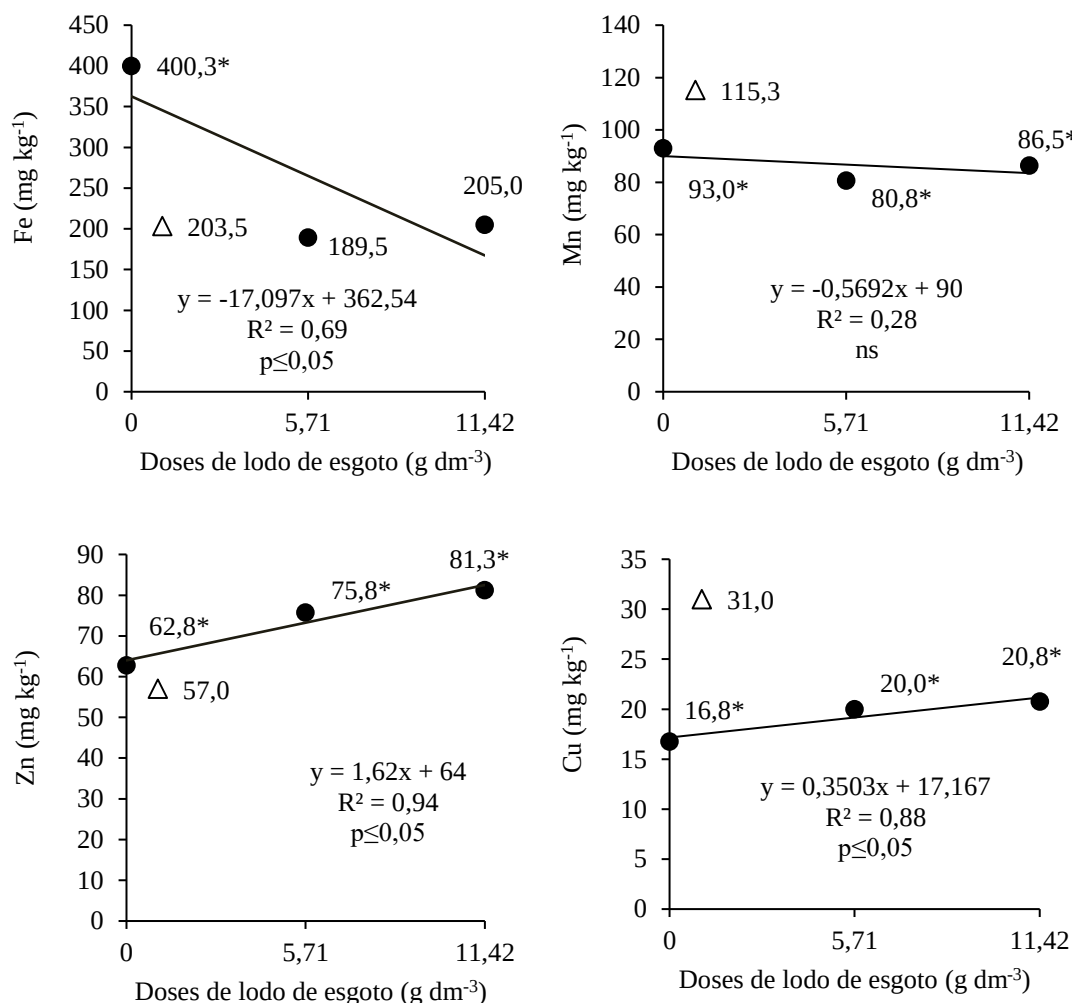
3.3 TEORES DE MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DO CAPIM

Os teores de Ferro ($p < 0,05$) e Mangaês ($p > 0,05$) apresentaram-se menores em função dos tratamentos com LE, possivelmente por conta da competição por sítios de adsorção desses metais no solo com outros micronutrientes e/ou por inibição competitiva com Fósforo e Enxofre (Figura 4). Vale ressaltar que o efeito diluição também é agravante para tal comportamento expresso pela regressão. Por outro lado, diversos autores citam efeitos depressivos do fósforo sobre a utilização dos micronutrientes catiônicos pelas plantas, especialmente o Zinco, e outros em menor intensidade (Cobre, Ferro, Manganês).

Há hipóteses que explicam isso, pois, pode ocorrer precipitação do Fósforo, e os micronutrientes nos vasos condutores, tem seu transporte reduzido para a parte aérea, causando a sua deficiência. Outra hipótese é que pode haver efeito de diluição do micronutriente, com o maior desenvolvimento da planta, devido à aplicação do P e, assim, causar sua deficiência na planta. Dessa forma, o uso de Fósforo em excesso pode induzir sintomas de deficiências desses micronutrientes. Além disso, o excesso de fósforo pode deprimir a fixação de CO_2 e a síntese de amido (Marshner, 1986).

Na análise de regressão, diferentemente dos metais Manganês e Ferro, houve aumento nos teores de Cobre e Zinco na parte aérea ($p \leq 0,05$) com a adição do LE. Tal fato pode ser explicado pela elevada concentração destes metais no LE, pois a ETE trata o esgoto industrial e domiciliar juntos, e os teores de metais são geralmente maiores nos resíduos industriais (Bettoli; Camargo 2006). Pode-se dizer que, a longo prazo, a aplicação contínua deste resíduo possa causar aumentos excessivos de Cobre e Zinco nos solos e experimentos de longa duração são necessários para verificar esta tendência.

Figuras 4. Concentração de micronutrientes na parte aérea de *Urochloa Ruziziensis* em função do tratamento Controle (triângulo) e de doses do lodo de esgoto (círculo). *médias diferem do tratamento Controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4 CONCLUSÃO

O lodo de esgoto proporcionou aumento no perfilhamento, na produção de palhada e nos teores de N da parte aérea do capim Ruziziensis, tornando-se uma fonte orgânica de baixo custo para a fertilização do solo em sistemas de plantio direto, com indicação de uso de 11,42 g dm⁻³ de solo. Recomenda-se a adição de adubo Potássico quando o lodo de esgoto for utilizado em função das baixas concentrações deste nutriente.

O lodo de esgoto se apresentou como um resíduo orgânico com elevado potencial para recuperação de áreas degradadas, assim como uma alternativa aos adubos minerais para melhorar a fertilidade dos solos, sendo que mais estudos deveriam ser conduzidos com espécies forrageiras sob produção animal.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSES

Declaramos para os devidos fins, não há nenhum tipo de conflitos de interesses.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, L.C.; SANTOS, P.M.; MENDONÇA, F.C.; MOURÃO, G.B. Establishment of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, under levels of soil water availability in stages of growth of the plants. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, n. 7, p. 1405-1411, 2011.
- ARAUJO, F. F.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. Goiânia, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 39, 1, p. 1-6, 2009.
- BRAMRYD, T. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 147, n. 2, p. 197-216, 2001.
- BURNS, R.G. Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. **Soil Biol. Biochem.**, v. 14, p. 423-427, 1982.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental. Brasília, 2020. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797. Acesso em: 15 jan. 2025.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Environmental regulations and technology – Sludge treatment and disposal: Management approaches and experiences. 1997. 53 p.
- FERREIRA, A. O.; MORAES SÁ, J. C.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1583-1590, 2012.
- IPPOLITO, J. A.; BARBARICK, K. A. Biosolids affect soil barium in a dryland wheat agroecosystem. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 2333-2341, 2006.
- MATTHEWS, P. J. Sewage sludge disposal in the UK: A new challenge for the next twenty years. **Journal of the Institution of Water Environmental Management**, v. 6, p. 551-559, 1992.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 45-67.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Eds.). **Biossólido na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 289-363.
- MILIEU; WRc; RPA. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report. Part I: Overview Report. Milieu Ltd, WRc and Policy Analysts Ltd (RPA) for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV. G.4/ETU/2008/0076r. Brussels, 2010. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.
- PARIZ, M. C. et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Rev. Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 875-882, Universidade Federal de Santa Maria, maio, 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/331/33118936010.pdf> Acesso em: 15 jan. 2025.

RIBEIRINHO, V. S.; MELO, W. J. de; SILVA, D. H. da; FIGUEIREDO, L. A.; MELO, G. M. P. de. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 166-173, abr./jun. 2012.

SILVA, D. A. P da. **Mineralização da matéria orgânica de lodo aplicado no solo e produtividade do capim-tifton 85**. 2017. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/42202>. Acesso em: 23 jan. 2025.

TERAN, F. J. C.; CUBA, R. M. F.; FREITAS, E. C. B. DE.; SANTOS, G. O.; SOARES, J. A.; SOARES JÚNIOR, W. T. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.5, n.3, p. 2973-2984, 2022.