

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARCELA RIBEIRO BARUFI

**EFEITO RESIDUAL A APLICAÇÃO DE COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO NO
MILHO SEGUNDA SAFRA EM SOLO DE CERRADO**

**Ilha Solteira
2023**

MARCELA RIBEIRO BARUFI

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO NO
MILHO SEGUNDA SAFRA EM SOLO DE CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira agrônoma.

Prof Dr Thiago Assis Rodrigues Nogueira
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Barufi, Marcela Ribeiro.
B295e Efeito residual a aplicação de composto de lodo de esgoto no milho segunda safra em solo de cerrado / Marcela Ribeiro Barufi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
30 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Thiago De Assis Nogueira

Inclui bibliografia

1. Zea mays L. 2. Biossólido. 3. Fertilizante orgânico. 4. Resíduo urbano.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO NO MILHO SEGUNDA SAFRA CULTIVADO EM SOLO DE CERRADO

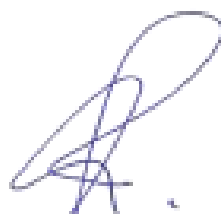
ALUNA: *Marcela Ribeiro Barufi*

RA: 152053301

ORIENTADOR: Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira

Aprovada (X) - Reprovada () pela Comissão Examinadora com Nota: 8,0

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira
Presidente (Orientador)



Me. Raimunda Eliane Nascimento do Nascimento



Me. Rafael dos Santos Silva



Marcela Ribeiro Barufi

Ilha Solteira, 19 de janeiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Daniela, que acreditou em cada passo que dei, que foi exemplo de dedicação e esforço.

À minha tia Luciana, que me apoiou e me garantiu materiais para estudar.

Aos meus irmãos, Paola e Gabriel, por me incentivarem, mesmo que indiretamente, a ser exemplo.

Aos meus pais, Marcelo (*in memoriam*) e Giuliano, por serem os melhores pais que uma família poderia ter.

Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira, que me deu a oportunidade de iniciar o grupo de estudos e por ter me recebido novamente de braços abertos quando precisei.

Ao Grupo de Estudos em Nutrição, Adubação e Fertilidade do Solo – GENAFERT, pelas experiências e conhecimento obtidos em campo e como equipe.

Aos meus amigos Bruna Miguel Cardoso, Laura Martins Antunes, Guilherme Soler Vila e ao meu namorado Guilherme Giglio de Andrade por ser ombro, colo e abrigo.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, por nos proporcionar um ensino de qualidade e à todos os docentes que contribuíram para minha formação acadêmica.

RESUMO

O composto de lodo de esgoto (CLE) contém quantidades consideráveis de elementos essenciais às plantas e elevado teor de matéria orgânica, desempenhando papel na manutenção da fertilidade do solo. Objetivou-se, com este estudo, avaliar a viabilidade agronômica do uso de CLE como fonte de nutrientes para a cultura de milho em solo de Cerrado. Para tal, foi instalado experimento em campo, em Selvíria-MS, tendo como cultura o milho, cultivado na safrinha no ano agrícola de 2017/2018. Adotou-se delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram: quatro doses de CLE (5,0, 7,5, 10,0 e 12,5 t ha⁻¹, base úmida) dois modos de aplicação (área total e entrelinhas das culturas) e dois tratamentos controles (sem composto e com adubação mineral). Foram avaliados: índice de clorofila Falker (ICF), teores de macro e de micronutrientes nas folhas, componentes de produção e produtividade de grãos. Exceto para os teores de N e Zn, as doses do CLE não influenciaram os teores dos nutrientes. O ICF, os componentes de produção e a produtividade de grãos são incrementados com aplicação do CLE. Sugere-se que a aplicação do composto seja realizada em área total. O CLE aplicado em solo de baixa fertilidade natural, melhora a nutrição e a produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Biossólido; Fertilizante orgânico; Resíduo urbano

ABSTRACT

Composted sewage sludge (CSS) contains considerable amounts of essential plant elements and high organic matter content, playing a role in maintaining soil fertility. The aim of this study was to evaluate the agronomic viability of using CSS as a source of nutrients for maize cultivation in the Cerrado region. A field experiment was carried out in Selvíria-MS, with maize as a crop, grown in the off-season in the agricultural year of 2017/18. A $4 \times 2 + 2$ factorial randomized complete block design was applied with the following treatments: (i) CSS: 5.0, 7.5, 10.0, and 12.5 Mg ha⁻¹ on a wet basis applied according to two different methods: whole area (WA) or between rows (BR); (ii) comparison with two alternative treatments: a control with no CSS and mineral fertilizer application, and an area treated with conventional fertilizers only. The following parameters were evaluated: FCI, leaf macro and micronutrient concentration, yield components and productivity. Except for the N and Zn, the CSS application rates did not influence the leaf nutrient concentration. The FCI, yield components, and grain yield increased with the CSS application rates. It is suggested that the CSS application should be applied to the whole area. Our study showed that use of CSS in low natural fertility soil improves the nutrition and grain maize yield.

Keywords: *Zea mays* L.; Biosolid; Organic fertilizer; urban waste

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÕES	26
6. REFERÊNCIAS.....	27
APÊNDICE A.....	30 29

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo semissólido resultante do tratamento dos esgotos ou das águas servidas cuja composição, predominantemente orgânica, varia em função da sua origem e do sistema de tratamento do esgoto (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Por ser gerado em larga escala, esse resíduo é uma fonte constante de preocupação no que se refere à sua disposição final (BELHAJ et al., 2016). Em 2016, aproximadamente 500 toneladas por dia de LE desidratado, geradas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da região metropolitana de São Paulo, foram descartadas em aterros sanitários (LEITE, 2016).

Em regiões de clima tropical e subtropical, em que predominam solos muito intemperizados, com baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, o uso agrícola de LE pode ser vantajoso por proporcionar benefícios agronômicos, como: elevação dos valores de pH do solo, do teor de C orgânico e da CTC, aumento na disponibilidade de nutrientes, melhorias nas propriedades físicas do solo, como aumento da estabilidade dos agregados e da macroporosidade e diminuição da resistência à penetração, além de representar um benefício de ordem social pela disposição final com menor impacto negativo do resíduo no ambiente (NASCIMENTO et al., 2014).

A grande região Central do Brasil definida pelo Cerrado possui dois milhões de quilômetros quadrados, representando 23% do território nacional (LOPES; GUILHERME, 2016), sendo considerada o celeiro da produção agrícola do Brasil, concentrado aproximadamente 49% da produção nacional (CONAB, 2017). Tomando por referência as lavouras de soja e de milho, duas das principais commodities da economia nacional, é preciso considerar que tamanha participação do Cerrado no volume total colhido se deve ao incremento da área plantada, das pesquisas realizadas e da adoção de novas tecnologias, como a correção da acidez do solo e a adubação das culturas. Todavia, apesar dos avanços científicos nessa região, as pesquisas relacionadas ao manejo de resíduos orgânicos no solo, especialmente do LE, ainda são incipientes.

Os lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) localizadas nos grandes centros, podem apresentar em sua composição teores elevados de Ba, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn (NOGUEIRA et al., 2013). Sucessivas aplicações de doses

elevadas desse resíduo (variando de 15 a 60 t ha⁻¹) podem proporcionar o aumento dos teores desses elementos no solo e inviabilizar o uso desse material. Por outro lado, os elementos B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn contidos no LE são considerados nutrientes de plantas. É importante mencionar que a cultura do milho vem apresentado certa sensibilidade à deficiência de B, Cu, Mn, Mo e Zn (FANCELLI, 2010), sendo que na carência de um desses elementos, pode ocorrer uma desorganização nos processos metabólicos do vegetal bem como ocasionar a deficiência de um macronutriente (COELHO; FRANÇA, 2013).

A compostagem tem sido uma saída encontrada pelas empresas que gerenciam o lodo de algumas ETEs, visando, principalmente, a continuidade da reciclagem do lodo na agricultura. Essa técnica contribui para evitar a contaminação dos solos agrícolas, uma vez que o processo de compostagem altera a mobilidade dos metais pesados, limitando a sua solubilidade e o seu potencial biodisponível no solo, além de reduzir a carga patogênica presente no lodo (KHALIL et al., 2011). O fornecimento do composto de lodo esgoto (CLE) para a cultura do milho talvez possa substituir, pelo menos parcialmente, as quantidades de micronutrientes aplicados via adubo mineral.

Embora existam avanços nas pesquisas de fertilidade do solo e nutrição de plantas, os estudos relativos aos micronutrientes ainda são restritos, principalmente, quanto às fontes alternativas desses elementos. O mesmo pode-se dizer para os estudos realizados com o LE, sendo, em sua maioria, relacionados com o fornecimento de N e P ou com os seus efeitos no ambiente, descartando a possibilidade de utilização desse resíduo como fornecedor de micronutrientes para as culturas agrícolas. Diante do exposto, a presente pesquisa possui a hipótese de que a utilização do CLE em solo de Cerrado de “baixa” fertilidade, proporciona melhorias nos atributos químicos do solo, principalmente nos teores disponíveis de micronutrientes, favorecendo o adequado crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, aumentando a produtividade de grãos e reduzindo a quantidade de fertilizantes minerais aplicados.

2. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade agronômica do CLE como fonte de nutrientes para a cultura do milho cultivada em solo de Cerrado, monitorando o estado nutricional, o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do estudo, tipo de solo e culturas

O experimento foi desenvolvido em condições de campo (Anexo 1a) no município de Selvíria – MS (coordenadas geográficas de 20°20'35" S e 51°24'04" W, com altitude de 358 m). A região apresenta médias anuais de: precipitação pluvial de 1.370 mm, temperatura de 24,5 °C e umidade relativa do ar de 75%. O tipo climático da região é o Aw segundo classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994).

Mediante levantamento detalhado (DEMATTÊ, 1980) e utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018), o solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, o qual vinha sendo cultivado com milho em sistema convencional, sem irrigação, por aproximadamente 10 anos.

Antes da instalação do experimento e aplicação dos tratamentos foram realizadas amostragens do solo na camada de 0–20 e 20-40 cm de profundidade para caracterização física (EMBRAPA, 1997) e química do solo (RAIJ et al., 2001) (Tabela 1).

A planta-teste utilizada foi o híbrido de milho AG 7098 Pro2. A cultura do milho foi escolhida devido à importância dessa espécie na dieta humana e animal, além de ser uma cultura que têm apresentado sensibilidade à deficiência de micronutrientes (ex.: B, Cu, Mo e Zn) quando cultivadas em solos de Cerrado, que apresentam baixos teores desses elementos.

Tabela 1. Atributos químicos⁽¹⁾ e físicos⁽²⁾ das amostras dos solos utilizados no experimento (Média $\pm$ desvio-padrão; $n = 3$).

Atributo	Unidade	Profundidade (cm)	
		0-20	20-40
pH _(CaCl2)	-	4,5 $\pm$ 0,06	4,7 $\pm$ 0,06
Matéria orgânica	g dm ⁻³	19 $\pm$ 1,16	14 $\pm$ 0,58
Fósforo	mg dm ⁻³	16 $\pm$ 0,58	9 $\pm$ 0,00
Potássio	mmol _c dm ⁻³	1,7 $\pm$ 0,17	0,7 $\pm$ 0,15
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	13 $\pm$ 0,58	11 $\pm$ 0,58
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	12 $\pm$ 1,00	10 $\pm$ 0,00
Alumínio	mmol _c dm ⁻³	4 $\pm$ 0,00	2 $\pm$ 0,58
H+Al	mmol _c dm ⁻³	37 $\pm$ 2,31	32 $\pm$ 1,73
SB	mmol _c dm ⁻³	27,0 $\pm$ 1,69	22,1 $\pm$ 0,72
S-SO ₄	mg dm ⁻³	15 $\pm$ 0,58	8 $\pm$ 0,58
CTC	mmol _c dm ⁻³	63,7 $\pm$ 0,86	54,1 $\pm$ 2,45
V	%	42 $\pm$ 3,21	41 $\pm$ 0,58
<i>m</i>	%	13 $\pm$ 1,00	9 $\pm$ 2,31
Boro	mg dm ⁻³	0,22 $\pm$ 0,04	1,40 $\pm$ 0,02
Cobre (DTPA)	mg dm ⁻³	1,8 $\pm$ 0,05	7,7 $\pm$ 0,10
Ferro (DTPA)	mg dm ⁻³	15 $\pm$ 0,58	8 $\pm$ 0,58
Manganês (DTPA)	mg dm ⁻³	18,8 $\pm$ 0,59	7,3 $\pm$ 0,72
Zinco (DTPA)	mg dm ⁻³	0,6 $\pm$ 0,06	0,2 $\pm$ 0,00
<i>Distribuição granulométrica</i>		<i>0-40 cm</i>	
Areia (> 0,05 mm)	g kg ⁻¹	553 $\pm$ 12,86	
Silte (> 0,002 e < 0,05 mm)	g kg ⁻¹	81 $\pm$ 3,21	
Argila (< 0,002 mm)	g kg ⁻¹	372 $\pm$ 19,05	
Textura	-	Argilosa	

⁽¹⁾Raij et al. (2001). ⁽²⁾Embrapa (1997).

3.2. Tratamentos

Os tratamentos foram originados de esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo: quatro doses de composto de lodo de esgoto (5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 t ha⁻¹, base úmida), dois modos de aplicação (área total e nas entrelinhas das culturas), e dois tratamentos controle (sem aplicação do composto e com adubação mineral convencional).

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os resultados foram avaliados pela análise de variância por meio do teste F ($P < 0,05$) para

a comparação das médias dos modos de aplicação do composto de lodo de esgoto e das interações entre as médias dos fatoriais e dos tratamentos adicionais. Também, foram realizados estudos de regressão polinomial para as interações significativas em relação às doses do composto de lodo de esgoto. A análise estatística foi realizada utilizando o programa AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

3.3. Obtenção e caracterização do composto de lodo de esgoto

O composto (Anexo 1b) foi obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiaí, SP. Esse produto é classificado como um Fertilizante Orgânico Composto Classe B, sendo produzido por meio da compostagem do lodo sanitário com bagaço de cana-de-açúcar, na proporção 1:1 (1 m³ de torta de lodo com 18% de sólidos com 1 m³ de bagaço de cana com 70% de sólidos).

O lodo de esgoto utilizado na compostagem é obtido da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí, operada sob regime de concessão pela Companhia Saneamento de Jundiaí, em Jundiaí, SP. Esse resíduo é gerado em sistema biológico de lagoas aeradas, de mistura completa, seguidas de lagoas de sedimentação, resultando em um lodo com teor de matéria orgânica em sólidos secos menores que 70%. Na sequência, o lodo é condicionado com polímeros, centrifugado e seco ao ar por 120 dias, com revolvimento mecânico periódico das pilhas, para redução significativa de agentes patogênicos e obtenção de material com até 25% de sólidos. Para a caracterização do composto, foram coletadas seis amostras simples em diferentes pontos do composto, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. Essa amostra foi caracterizada do ponto de vista químico e microbiológico (Tabela 2), seguindo as recomendações preconizadas na Resolução nº 498 do Conama (CONAMA, 2020).

Tabela 2. Composição química e microbiológica de amostras do composto de lodo de esgoto (Média $\pm$ desvio-padrão; $n = 3$).

Característica	Unidade	Base úmida	Valor Permitido ⁽¹⁾
<i>Química</i>			
pH (CaCl ₂)	-	7,0 $\pm$ 0,10	--
Umidade (60-65 °C)	%	40,96 $\pm$ 0,26	--
Umidade total	%	45,46 $\pm$ 0,22	--
Matéria orgânica Total (Combustão)	g kg ⁻¹	308,65 $\pm$ 9,95	--
Carbono Orgânico	g kg ⁻¹	153,10 $\pm$ 4,80	--
Capacidade de troca catiônica C/N	mmol _c dm ⁻³	520 $\pm$ 20,00	--
Nitrogênio Total	g kg ⁻¹	12 $\pm$ 0,81	--
Fósforo (P ₂ O ₅) Total	g kg ⁻¹	13,85 $\pm$ 0,25	--
Potássio (K ₂ O) Total	g kg ⁻¹	12,25 $\pm$ 1,35	--
Cálcio (Ca) Total	g kg ⁻¹	6,00 $\pm$ 2,20	--
Magnésio (Mg) Total	g kg ⁻¹	19,40 $\pm$ 4,40	--
Enxofre (S) Total	g kg ⁻¹	5,20 $\pm$ 0,50	--
Sódio (Na) Total	mg kg ⁻¹	4,75 $\pm$ 0,25	--
Arsênio	mg kg ⁻¹	3930 $\pm$ 32,00	20,0
Boro	mg kg ⁻¹	3,15 $\pm$ 1,76	--
Cádmio	mg kg ⁻¹	94 $\pm$ 4,52	3,0
Cobre	mg kg ⁻¹	1,00 $\pm$ 0,01	--
Chumbo	mg kg ⁻¹	237 $\pm$ 16,54	150,0
Cromo	mg kg ⁻¹	18,10 $\pm$ 1,60	--
Ferro	mg kg ⁻¹	54,25 $\pm$ 1,75	--
Manganês	mg kg ⁻¹	16400 $\pm$ 1300	--
Mercúrio	mg kg ⁻¹	246 $\pm$ 37	1,0
Molibdênio	mg kg ⁻¹	0,22 $\pm$ 0,09	--
Níquel	mg kg ⁻¹	5,26 $\pm$ 0,23	70,0
Zinco	mg kg ⁻¹	26,52 $\pm$ 0,50	--
<i>Microbiológica</i>			
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/10g		Ausente
<i>Coliforme Termotolerantes</i>	NMP/g		0
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST		0,12

⁽¹⁾ IN N°7 MAPA (2016).

3.4. Instalação e desenvolvimento do experimento

O experimento foi instalado em setembro de 2017 (ano agrícola 2017/2018), época em que foi realizada uma subsolagem até 30 cm de profundidade e o estaqueamento das parcelas no campo (Anexo 1c). A cultura da soja foi cultivada na safra de primavera/verão e o milho na segunda safra (safrinha), em sucessão.

Cada unidade experimental foi constituída por sete linhas da cultura da soja e do milho (espaçadas entre si de 0,45 m) de 10 metros de comprimento, totalizando 31,5 m² por parcela e 1.260 m² de área total. A área útil da parcela para as avaliações foi constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminados como bordadura 2,5 m de cada extremidade.

Com base nos resultados da avaliação da fertilidade do solo (Tabela 1), foi realizada a calagem (2,2 t ha⁻¹) objetivando elevar a saturação por bases a 70%, sendo metade da dose aplicada antes da aração e metade antes da gradagem da área (CANTARELLA; FURLANI, 1997) (Anexo 1d). Em seguida, foi realizada a aplicação de 1,8 t ha⁻¹ de gesso agrícola conforme recomendações descritas em Raij et al. (1997).

Antes da aplicação do CLE, aproximadamente 15 dias antes da semeadura, realizou-se a dessecação prévia de plantas daninhas com os herbicidas glifosato (1800 g ha⁻¹ do i.a.) e 2,4-D (670 g ha⁻¹ do i.a.). O CLE foi distribuído de forma manual em área total ou na entrelinha das plantas, levando-se em conta a umidade do material (42%). A aplicação em área total foi realizada cinco dias antes da semeadura. Já a aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura foi realizada sete dias após a semeadura (Anexo 1e e 1f). Anteriormente a semeadura das culturas, foi realizado o tratamento das sementes por meio dos fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina (5 g + 45 g de i.a. por 100 kg de semente) e do inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente).

A semeadura do cultivar de soja BMX Potência RR e do híbrido de milho AG 7098, ocorreu mecanicamente em 25/11/17 e 14/04/18, respectivamente. Todos os tratamentos com o CLE receberam a complementação mineral para o fornecimento dos macronutrientes levando-se em consideração as análises químicas do solo (Tabela 1) e as recomendações de Cantarella e Furlani (1997). Para tal, na adubação

de semeadura da cultura da soja foi aplicado 300 kg ha⁻¹ da fórmula 04-20-20, o que equivale a 12 kg ha⁻¹ de N (ureia), 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ (superfosfato triplo) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foram aplicados 1,0 kg ha⁻¹ de boro usando-se ácido bórico (H₃BO₃) e 5,0 kg ha⁻¹ de zinco na forma de sulfato de zinco (ZnSO₄).

Na adubação de semeadura da cultura do milho foi aplicado 320 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16, o que equivale a 25,6 kg ha⁻¹ de N (ureia), 89,6 kg ha⁻¹ P₂O₅ (superfosfato triplo) e 51,2 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foram aplicados 1,0 kg ha⁻¹ de boro usando-se ácido bórico (H₃BO₃) e 2,0 kg ha⁻¹ de zinco na forma de sulfato de zinco (ZnSO₄). Logo após a aplicação, foi realizada irrigação com, aproximadamente, 10 mm de água. Tanto para a cultura da soja quanto para a cultura do milho, logo após a aplicação dos fertilizantes, foi realizada irrigação com, aproximadamente, 10 mm de água.

Apenas na cultura do milho foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, (dose de 90 de kg ha⁻¹ de N aplicada na forma de ureia). Essa adubação foi parcelada em duas vezes, aplicando-se metade na fase de perfilhamento – aproximadamente 30 dias após a semeadura e metade no início da diferenciação da panícula (RAIJ; CANTARELLA, 1997). A aplicação da ureia foi realizada manual, distribuindo-se o fertilizante sobre a superfície do solo, sem incorporação, ao lado e aproximadamente 8 cm das linhas de semeadura, a fim de se evitar o contato do fertilizante com as plantas. Após a adubação de cobertura a área foi irrigada por aspersão (lâmina de 14 mm) para minimizar as perdas de N por volatilização na forma de amônia.

A área foi irrigada por um sistema de aspersão do tipo pivô central, com lâmina de água média de 14 mm e turno de rega de aproximadamente 72 horas, quando necessário.

O manejo fitossanitário das culturas foi realizado de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas para as culturas na região.

A colheita da soja ocorreu no dia 03 de abril de 2018 (129 dias após a semeadura) e do milho no dia 07 de setembro de 2018 (148 dias após a semeadura). As plantas foram colhidas manualmente, nas três linhas centrais, cada uma com cinco metros de comprimento.

3.5. Parâmetros avaliados na cultura do milho

a) Estado nutricional

Para avaliar o estado nutricional da cultura do milho, quando as plantas atingiram o pleno florescimento, foram coletadas (10 plantas por parcela), o terço médio da folha da base da espiga (folha diagnose) dentro da parcela útil, conforme recomendações de (RAIJ, 2011). Depois de lavadas, as amostras correspondentes a cada parcela do campo, foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C por 72 h, trituradas em moinho tipo Willey e armazenadas até o momento das análises. Nas amostras das folhas diagnose foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

b) Índice SPAD

No estágio R1 (início do florescimento e polinização), foi avaliado o teor relativo de clorofila nas folhas (índice SPAD), utilizando um clorofilômetro portátil. Para tal, foram escolhidas cinco plantas nas linhas da área útil de cada parcela, com a aferição das leituras a partir do terço médio da folha da base da espiga.

c) Avaliações biométricos

Quando a maioria das plantas apresentavam espigas com grãos pastosos (R4), foram avaliados: altura das plantas, altura da espiga e o diâmetro do colmo de vinte plantas consecutivas, na área útil de cada parcela, que foram expressas em centímetros (PORTUGAL, 2015). A altura da planta foi obtida medindo-se, com auxílio de uma régua graduada, a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha. Para a altura da espiga, também com auxílio de uma régua graduada, foi medida a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal. Para a obtenção do diâmetro do colmo, foi realizada uma medida no primeiro entrenó acima do solo, com o auxílio de um paquímetro digital, no sentido de disposição das folhas.

d) Componentes de produção e produtividade

Na maturidade fisiológica da cultura (estádio R6), foram coletadas aleatoriamente, de forma manual, dez espigas dentro da área útil da parcela, para a determinação do número de grãos por. O número de grãos por espiga foi avaliado por meio da contagem do número de fileiras de grãos e do número de grãos por fileiras, obtendo-se o valor médio.

A produtividade de grãos foi obtida por meio da pesagem dos grãos de todas as espigas colhidas na área útil da parcela, corrigindo a umidade para 13% e transformando os resultados em kg ha^{-1} . A massa de 1.000 grãos foi avaliada por meio de duas amostragens de mil grãos por parcela da produtividade obtida, com posterior pesagem em balança digital e a transformação dos dados para 13% de umidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exceto para os teores de N, não houve interação entre o modo de aplicação e as doses do CLE para os teores de macronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (Tabela 3).

Tabela 3 – Efeitos dos tratamentos nos teores de macronutrientes na folha diagnose da cultura do milho.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Modos de Aplicação (MA)	g kg ⁻¹					
Área total	24,8	2,5	31,1	4,1	3,7	1,5
Entrelinhas	25,4	2,6	31,7	4,6	4,4	1,4
Teste F	3,24 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,36 ^{NS}	3,19 ^{NS}	16,06 ^{**}	0,55 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)						
5,0 t ha ⁻¹	25,3	2,5	28,9	4,7	4,1	1,5
7,5 t ha ⁻¹	24,8	2,6	34,6	4,3	4,2	1,4
10,0 t ha ⁻¹	24,6	2,6	28,8	4,0	4,0	1,4
12,5 t ha ⁻¹	25,7	2,6	33,2	4,4	4,0	1,5
Teste F	2,48 ^{NS}	0,81 ^{NS}	9,11 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,73 ^{NS}
Tratamentos Adicionais (TA)						
Controle absoluto	20,4	2,2	30,8	4,4	4,1	1,2
Adubação convencional	24,8	2,8	28,2	6,0	5,0	1,7
Teste F	51,31 ^{**}	15,71 ^{**}	1,79 ^{NS}	9,12 ^{**}	6,76 [*]	31,98 [*]
(TA) x [(MA) X (CLE)]						
Média dos Tratamentos	22,6	2,5	29,5	5,2	4,6	1,4
Média do Fatorial	25,1	2,6	31,4	4,4	4,1	1,4
Teste F	52,80 ^{**}	0,66 ^{NS}	3,02 ^{NS}	7,52 [*]	6,92 [*]	0,22 ^{NS}
Teste F (MA) x (CLE)	8,43 ^{**}	3,04 ^{NS}	2,13 ^{NS}	0,18 ^{NS}	1,42 ^{NS}	1,79 ^{NS}
Média Geral	24,6	2,6	31,0	4,5	4,2	1,4
CV (%)	3,5	8,7	8,9	17,0	11,8	8,3

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

Dessa forma, notou-se também, que o aumento das doses de CLE aplicadas ao solo não influenciaram os teores dos macronutrientes na folha diagnose. Porém, no caso do N, verificou-se aumento linear ($P < 0,01$) dos teores desse elemento na folha diagnose com a elevação das doses de CLE aplicado nas entrelinhas da cultura (Figura 1). É importante destacar que os teores de N foliar tanto para as doses de CLE (área total e entrelinha), quanto para a adubação convencional, foram maiores do que o tratamento controle absoluto (plantas que não receberam adubação). A aplicação de CLE propiciou quantidades de N similares às do tratamento com adubação

convencional, indicando que o composto pode ser uma alternativa no fornecimento desse elemento para a cultura do milho.

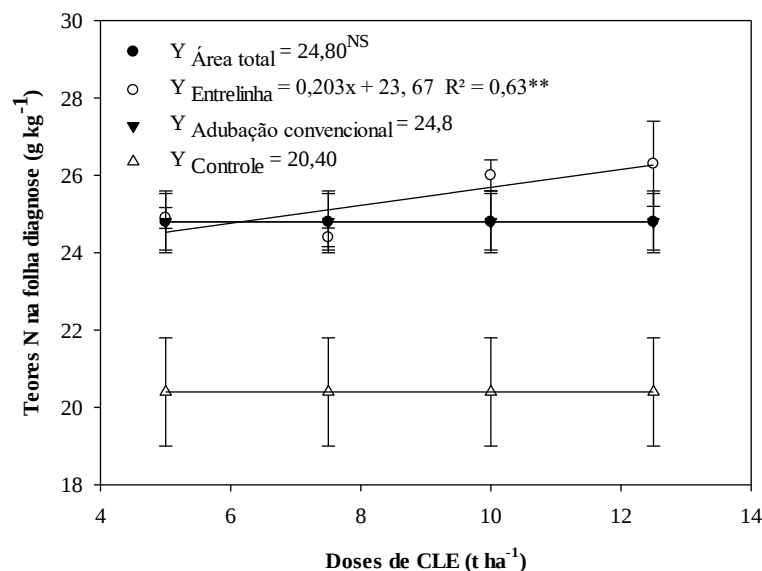


Figura 1. Efeito das doses de composto de lodo de esgoto nos teores de N na folha diagnose em função dos tratamentos estudados. Média ($n = 4$) $\pm$ o desvio-padrão.

Para a cultura do milho, os teores adequados de macronutrientes variam de (g kg^{-1}): N = 27-35; P = 2,0-4,0, K = 17-35, Ca = 2,5-8, Mg = 1,5-5,0 e S = 1,5-3,0 (RAIJ, 2011). Considerando o modo de aplicação e as doses de CLE, verificou-se que os teores macronutrientes obtidos na folha diagnose variam de (g kg^{-1}): N = 24,6-25,7; P = 2,5-2,6; K = 28,8-34,6; Ca = 4,0-4,7; Mg = 4,0-4,2 e S = 1,4-1,5. Assim, exceto para o N, pôde-se notar que bom estado nutricional da cultura do milho. Apesar dos teores de N estarem abaixo dos valores considerados adequados, no campo, não foi verificado nenhum sintoma de deficiência desse nutriente. Como já era esperado, de modo geral, os teores de macronutrientes nas folhas diagnose foram maiores no tratamento com adubação convencional, quando comparado com o tratamento controle absoluto (Tabela 3).

Quanto ao modo de aplicação do CLE, verificou-se que, exceto para os teores de Mg, não houve diferença para os demais teores de macronutrientes na folha diagnose (Tabela 3).

A interação entre média do fatorial (modo de aplicação e doses de CLE) e dos tratamentos adicionais foi significativa para os teores foliares de N, Ca e Mg. Assim, conforme já mencionado, verificou-se que a aplicação do CLE aumentou as doses de N nas folhas. Já os teores foliares de Ca e Mg foram menores com a adição do CLE.

Não houve interação entre o modo de aplicação e as doses do CLE para os teores de micronutrientes na folha diagnose da cultura do milho (Tabela 4). Além disso, notou-se que a

aplicação do CLE também não alterou significativamente os teores desses elementos no tecido foliar, sendo que estes variam de (mg kg⁻¹): B = 14,6-16,6; Cu = 15,0-22,0; Fe = 100,4-123,2; Mn = 61,9-69,6 e Zn = 38,1-41,4. De acordo com Raji (2011), os teores adequados de micronutrientes para a cultura do milho, variam de (mg kg⁻¹): B = 10-25; Cu = 6-20; Fe = 30-250; Mn = 20-200 e Zn = 15-100. Dessa forma, observou-se que os teores encontrados nas plantas de milho estavam adequados (Tabela 4).

O modo de aplicação do CLE não influenciou os teores de B e Zn foliares. Porém, observou-se que a aplicação em área total proporcionou maior teores de Cu e Mn nas folhas diagnose. Já quando o CLE foi aplicado na entrelinha da cultura, verificou-se maior teor de Fe nas folhas diagnose. Com base nesses resultados, é recomendado que a aplicação do CLE seja feita em área total. Além disso, de modo geral, os maiores teores dos micronutrientes foram encontrados quando a adição do composto foi realizada também em área total.

A interação entre média do fatorial (modo de aplicação e doses de CLE) e dos tratamentos adicionais foi significativa para os teores de B, Mn e Zn na folha diagnose (Tabela 4). Pôde-se notar que os tratamentos adicionais apresentaram maiores teores de B e Mn nas folhas, já os teores foliares de Zn, aumentaram nos tratamentos que receberam o CLE. O composto utilizado apresenta na sua composição quantidades consideráveis de Zn (Tabela 1), o que provavelmente refletiu em uma maior quantidade no solo (dados não apresentados) e, conseqüentemente, elevou os teores desse elemento nas plantas de milho (Tabela 4). Exceto para o número de fileiras por espiga e a produtividade de grãos, não houve interação entre o modo de aplicação e as doses do CLE para o índice SPAD e para os componentes de produção (Tabela 5).

Quanto às doses de CLE aplicadas, observou-se que houve efeito significativo para o número de fileiras por espiga, não sendo verificado efeito para o índice SPAD e os demais componentes de produção da cultura do milho. Observou-se, ainda, que o aumento das doses de CLE, quando aplicado em área total, proporcionou efeito linear crescente ($P < 0,01$) no número de fileiras por espiga de milho. Para essa variável, a aplicação do composto em área total e nas entrelinhas da cultura, superou as médias obtidas para os tratamentos adicionais (Figura 2a).

Tabela 4 – Efeitos dos tratamentos nos teores de micronutrientes na folha diagnose da cultura do milho.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Modos de Aplicação (MA)	mg kg ⁻¹				
Área total	15,5	19,1	113,6	70,5	40,2
Entrelinhas	15,2	16,5	116,4	64,2	30,0
Teste F	0,24 ^{NS}	7,24*	4,48*	20,54**	3,43 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)					
5,0 t ha ⁻¹	15,4	19,5	117,2	68,4	39,8
7,5 t ha ⁻¹	14,9	17,4	119,2	69,6	38,1
10,0 t ha ⁻¹	14,6	15,0	100,4	61,9	39,1
12,5 t ha ⁻¹	16,6	16,8	123,2	69,6	41,4
Teste F	1,77 ^{NS}	9,84 ^{NS}	57,59 ^{NS}	7,25 ^{NS}	4,52 ^{NS}
Tratamentos Adicionais (TA)					
Controle absoluto	23,0	19,0	115,0	66,0	34,8
Adubação convencional	18,2	16,8	117,8	76,0	38,8
Teste F	13,35**	1,40 ^{NS}	1,07 ^{NS}	13,15**	9,73**
(TA) x [(MA) X (CLE)]					
Média dos Tratamentos Adicionais	20,6	17,9	116,4	71,0	36,8
Média do Fatorial	15,4	17,8	115,0	67,4	39,6
Teste F	50,59**	0,01 ^{NS}	0,82 ^{NS}	5,53*	15,74**
Teste F (MA) x (CLE)	4,34 ^{NS}	4,95 ^{NS}	12,97 ^{NS}	1,38 ^{NS}	2,85 ^{NS}
Média Geral	16,4	17,8	115,3	68,1	39,0
CV (%)	11,4	15,1	3,3	5,7	4,6

**, * e ^{NS} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

A adição das doses de CLE, aplicadas na área total, promoveu aumento linear ($P < 0,01$) na produtividade de grãos, variando de $6,36 \text{ t ha}^{-1}$ na dose de $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ de CLE (base úmida) até $7,92 \text{ t ha}^{-1}$ na dose de $12,5 \text{ t ha}^{-1}$ de CLE (base úmida). Por outro lado, verificou-se a produtividade de grãos das plantas que receberam adubação convencional superou as médias de produtividade das plantas cultivadas nas áreas que receberam o CLE na entrelinha ou que não foram realizadas aplicações de CLE e adubo mineral (controle absoluto). Considerando o modo de aplicação do CLE, exceto para o número de fileiras por espiga, não houve diferença para as demais variáveis (Tabela 5), sugerindo que a aplicação do composto possa ser realizada em área total. Houve interação entre média do fatorial (modo de aplicação e doses de CLE) e as médias dos tratamentos adicionais para o índice SPAD, para todos os componentes de produção e para a produtividade de grãos (Tabela 5). Pôde-se notar ainda, que as médias foram sempre maiores com a aplicação do composto, demonstrando, com isso, que esse produto pode ser utilizado como fonte alternativa para a adubação da cultura do milho.

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos estudados nos atributos químicos do solo após o período de 90 DAE.

Tratamento	SPAD	AP	APE	DC	NFE	NGE	MMG	PROD
Modos de Aplicação (MA)		cm					g	t ha ⁻¹
Área total	54,8	211,3	1,3	2,4	17,2	611,9	269,8	7,36
Entrelinhas	54,2	209,3	1,3	2,4	17,7	625,1	268,0	7,54
Teste F	0,37 ^{NS}	1,10 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,95 ^{NS}	18,51 ^{**}	1,30 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,86 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)								
5,0 t ha ⁻¹	55,3	208,9	126,3	2,4	17,1	594,4	264,9	6,93
7,5 t ha ⁻¹	54,1	208,7	129,7	2,4	17,4	631,7	268,0	7,49
10,0 t ha ⁻¹	51,5	212,8	129,5	2,4	17,5	617,2	268,0	7,57
12,5 t ha ⁻¹	57,2	210,8	130,0	2,4	17,7	630,7	274,8	7,82
Teste F	6,09 ^{NS}	0,98 ^{NS}	1,42 ^{NS}	2,27 ^{NS}	3,32 [*]	2,26 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,86 ^{NS}
Tratamentos Adicionais (TA)								
Controle absoluto	40,8	186,5	1,1	2,0	16,5	464,9	267,1	5,30
Adubação convencional	54,9	215,2	1,3	2,5	17,3	620,6	232,7	7,77
Teste F	54,46 ^{**}	53,22 ^{**}	35,93 ^{**}	154,13 ^{**}	10,75 ^{**}	45,48 ^{**}	19,54 ^{**}	41,92 ^{**}
(TA) x [(MA) x (CLE)]								
Média dos Tratamentos Adicionais	47,9	200,9	122,3	2,2	16,9	542,7	249,9	6,54
Média do Fatorial	54,5	210,3	128,9	2,4	17,4	618,5	268,9	7,45
Teste F	38,40 ^{**}	18,58 ^{**}	16,08 ^{**}	40,39 ^{**}	14,11 ^{**}	34,45 ^{**}	19,14 ^{**}	18,53 ^{**}
Teste F (MA) x (CLE)	2,20 ^{NS}	1,43 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,72 ^{NS}	4,86 ^{**}	0,62 ^{NS}	0,12 ^{NS}	2,96 [*]
Média Geral	53,2	208,4	127,6	2,4	17,3	603,3	265,1	7,27
CV (%)	5,1	2,7	3,2	2,4	1,9	5,4	4,1	7,4

^{**}, ^{*} e ^{NS} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente. AP = Altura de plantas. APE = Altura da primeira espiga.

DC = Diâmetro do colmo. NFE = Número de fileiras por espiga. NGE = Número de grãos por espiga. MMG = Massa de mil grãos.

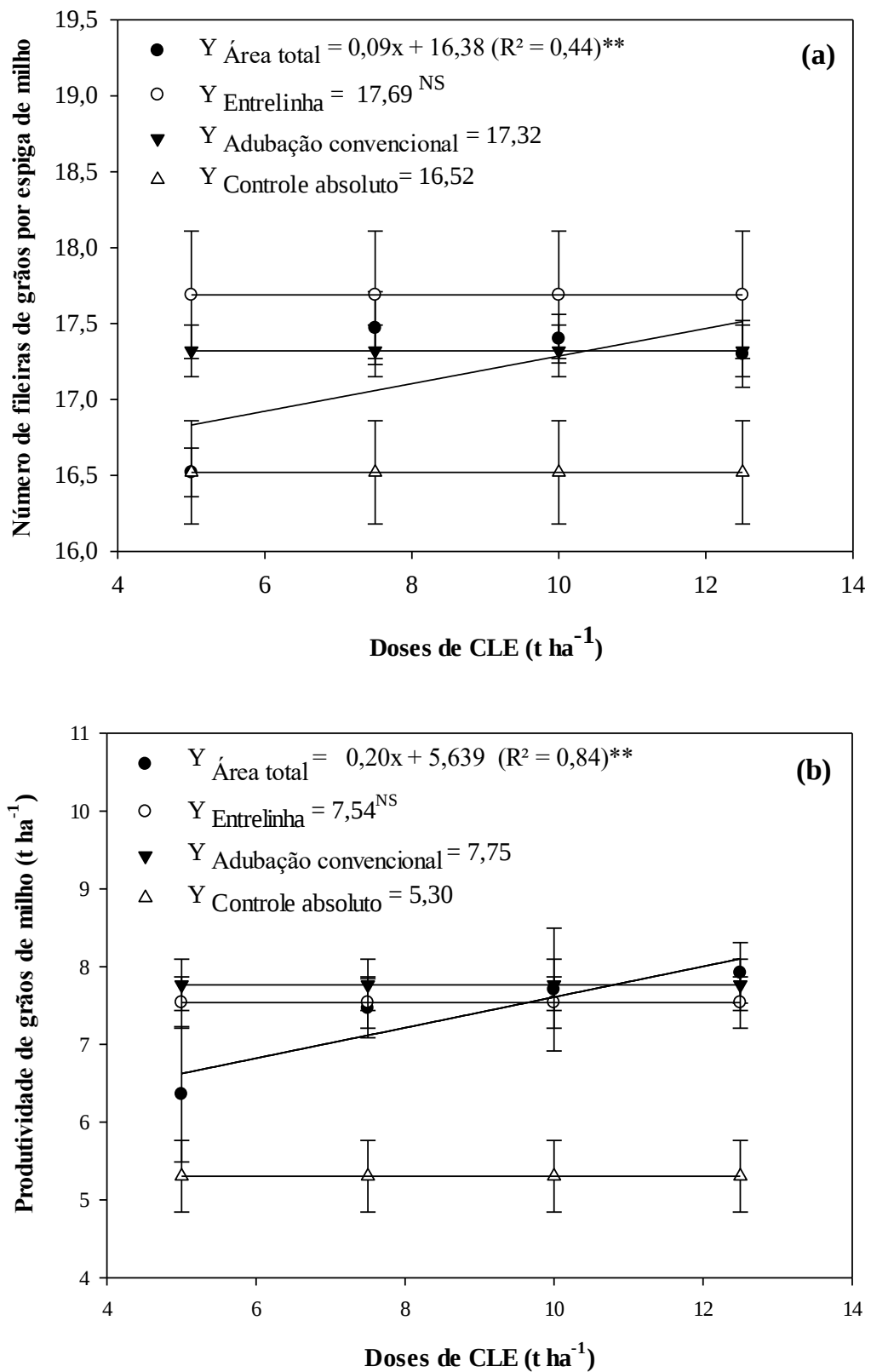


Figura 2. Efeito das doses de composto de lodo de esgoto no número de fileiras de grãos por espiga (a) e na produtividade de grãos de milho (b) em função dos tratamentos estudados. Média ($n = 4$) $\pm$ o desvio-padrão.

5. CONCLUSÕES

Os teores foliares de N são similares nas plantas adubadas com CLE e com o adubo mineral. Contudo, as doses do CLE não aumentam os teores dos demais macronutrientes.

O índice de clorofila Falker, os componentes de produção (altura de plantas, altura da inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de grãos por espiga, número de grãos por fileira e massa de 1.000 grãos) e a produtividade de grãos são incrementados com aplicação do CLE.

Levando em consideração os resultados das variáveis estudadas, sugere-se que a aplicação do composto seja realizada em área total.

O CLE aplicado em solo de baixa fertilidade natural, promove teores adequados de nutrientes, melhorando a nutrição e a produtividade da cultura do milho, indicando que esse produto pode ser uma fonte alternativa de fertilizante para a cultura do milho.

6. REFERÊNCIAS

- BARBOSA FILHO, M. P.; CANTARELLA, H.; WIETHÖLTER, S. Arroz, milho e trigo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 285–318.
- BELHAJ, D.; ELLOUMI, N.; JERBI, B.; ZOUARI, M.; BEN ABDALLAH, F.; AYADI, H.; KALLEL, M. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 20168–20177, 2016.
- BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. FEPAF: Botucatu, 2010. p. 31–50.
- CANTARELLA, H.; RAIJ B. van.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 45–47.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. 2013. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Séries históricas: Brasil – por unidades de Federação. Disponível em: <<http://conab.gov.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: 12 set. 2020. Acesso em: 16 fev. 2023.
- DEMATTE, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus Experimental de Ilha Solteira”**, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 1980, p. 11-31.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.
- FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. v. 3 Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. p. 39–93.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 56–59.

RAIJ, B. van; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

APÊNDICE A

a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



Apêndice 1. -Área experimental localizada na cidade de Selvíria/MS (a), CLE (b), estaqueamento (c), calagem (d), aplicação do CLE em área total (e) e na entrelinha (f) da cultura do milho e diferença no crescimento de plantas de milho aos três meses após a semeadura (g; h), em função dos tratamentos. Fotos: Thiago A. R. Nogueira.