

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

**KAREN COSSI KAWAKAMI**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NA SUCESSÃO MILHO-CAPIM-MARANDU  
ADUBADOS COM COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO:  
FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

**Ilha Solteira  
2022**

**KAREN COSSI KAWAKAMI**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NA SUCESSÃO MILHO-CAPIM-MARANDU  
ADUBADOS COM COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO:  
FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

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.

Nome do orientador

**Thiago Assis Rodrigues Nogueira**

**Ilha Solteira  
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

K22c Kawakami , Karen Cossi .  
Ciclagem de nutrientes na sucessão milho-capim-marandu adubados com composto de lodo de esgoto: fertilidade do solo e produtividade / Karen Cossi Kawakami . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
40 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira  
Inclui bibliografia

1. *Urochloa brizantha*. 2. *Zea mays* L.. 3. Biossólido.

**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: CICLAGEM DE NUTRIENTES NA SUCESSÃO MILHO-CAPIMMARANDU ADUBADOS COM COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO:  
FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

ALUNO: *Karen Cossi Kawakami* RA: 171050886

ORIENTADOR: Thiago Assis Rodrigues Nogueira

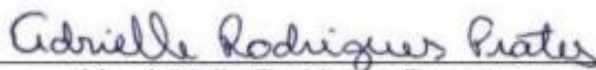
Aprovado (X) - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora com Nota: 10,0

Comissão Examinadora:



---

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



---

Me. Adrielle Rodrigues Prates



---

Me. Rafael dos Santos Silva



---

Karen Cossi Kawakami

Ilha Solteira, 07 de fevereiro de 2022.

## **DEDICATÓRIA**

À Deus, minha família e meu namorado, que sempre estiveram comigo e me guiaram para o caminho do bem.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e pela oportunidade de evoluir a cada dia.

À minha mãe Marlei, que nunca questionou minhas decisões e me apoiou por toda a minha trajetória como exemplo de amor e gentileza. Ao meu pai Aqueico, que foi modelo de perseverança e trabalho duro. À minha irmã Camila, que foi minha maior parceira e melhor amiga durante todos estes anos. À minha avó Vitalina, tia Mara, tio Marcos, tio Wanderlei, tia Liliane e primos Lizandra e Flávio, que me permitiram estudar mesmo quando as minhas condições financeiras me limitavam.

Ao meu namorado Marcos, por sempre estar presente, me ajudar em todos os momentos e ser uma das pessoas que eu mais admiro.

Ao meu orientador Prof. Thiago Assis Rodrigues Nogueira, que viu em mim um “brilho nos olhos”, e me deu a oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa no qual sem ele nenhuma das minhas conquistas seriam possíveis.

Ao Grupo de Estudos em Nutrição, Adubação e Fertilidade do Solo – GENAFERT, pelas experiências inesquecíveis em campo e como equipe, me permitindo crescer como pessoa e profissional. Obrigada Adrielle, Paulo, Luciano, Beatriz Freitas, Fernanda, João Pedro, Bruno, Jairo, Guilherme Benassi, Fernando, Felipe, Eduarda, Mariana Bocchi, Guilherme Bueno, Gabriela, Rafael, Ana Carolina, Nelson, Aline, Mariana Carvalho, Ana Laura, Isabella e Beatriz Trivelato.

À República X.X, por ser meu ponto de apoio, por todos os momentos felizes das nossas aventuras, mas principalmente pelo meu crescimento como pessoa, por serem exemplo de superação e dedicação no que acreditam. Obrigada Alini, Emanuele, Naira, Lorena, Beatriz, Alice, Izabella, Cecília e Dijiane.

Aos meus amigos de turma Thayna, Marisa e Pedro Giova, por serem meu grupo diário durante a graduação, pela amizade e companheirismo, e pela torcida e comemoração das conquistas de cada um.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, por ser tão diversa e possibilitar que pessoas de todos os lugares e condições possam ter um ensino de qualidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo, por me conceder por duas vezes a bolsa de Iniciação Científica (procs. nº 2019/02198-9 e 2020/12674-0) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa PIBIC (processo/edital 1/2020 – PIBIC).

“[...] Não reclames nem te faças de vítima. Antes de tudo, analisa e observa. A mudança está em tuas mãos. Reprograma tua meta, busca o bem e viverás melhor”. Francisco do Espírito Santo Neto (pelo espírito Hammed).

## RESUMO

O Cerrado brasileiro tem se destacado pela produção de grãos. No entanto, devido a sua condição de solos naturalmente inférteis e a crescente alta dos preços dos adubos minerais, a busca por sistemas agrícolas mais eficientes e fertilizantes alternativos tem aumentado significativamente. Objetivou-se, com esse estudo, avaliar a produtividade e ciclagem de nutrientes na rotação milho-capim-marandu sob efeito residual da aplicação de composto de lodo de esgoto (CLE) em solo do Cerrado. O experimento foi instalado em 2017 em condições de campo em Selvíria/MS, com o cultivo de arroz (safra) e feijão (segunda safra) nos anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019. Em 2019/20, foi cultivado o capim-marandu (safra) e milho (segunda safra), seguido novamente de capim-marandu em 2020/21, sendo os dois últimos cultivos estudados nesta pesquisa. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram originados de esquema fatorial  $4 \times 2 + 2$ , sendo: quatro doses de CLE (10; 15; 20 e 25 t ha<sup>-1</sup>, base úmida) divididas em duas aplicações, dois modos de aplicação (área total e entrelinhas das culturas) e dois tratamentos adicionais (sem aplicação do CLE e com adubação mineral convencional (B como ácido bórico, Zn na forma de sulfato de zinco, NPK 8-28-16 no cultivo de milho e super fosfato simples e cloreto de potássio para o capim-marandu)). Ao final dos ciclos das culturas, foram coletadas amostras de terra (0–10 e 10–20 cm de profundidade) para avaliação da fertilidade do solo. Foram avaliados a produtividade de grãos, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes no capim-marandu. A produtividade do milho foi superior com aplicação do adubo mineral comparado aos demais tratamentos, os quais não se pode notar efeito residual das aplicações do CLE. Para o capim-marandu, as duas maiores doses de CLE proporcionaram uma produção maior de matéria seca ao final dos dois cortes comparado às demais doses. Houve aumento da maior parte dos nutrientes acumulados no capim-marandu, destacando-se as duas maiores doses de CLE. Os teores de P, B e Zn no solo após o cultivo das culturas aumentaram em resposta à aplicação do CLE. Conclui-se que houve ciclagem de nutrientes pelo acúmulo de nutrientes no capim-marandu e incremento de nutrientes no solo. De modo geral, o tratamento adubado com fertilizante mineral foi superior aos adubados com CLE e a aplicação do CLE em área total mostrou-se mais efetiva.

**Palavras-chave:** *Urochloa brizantha*; *Zea mays* L.; bio-sólido.



## ABSTRACT

The Brazilian Cerrado has stood out for its grain production. However, due to its condition of naturally infertile soils and the increasing price of mineral fertilizers, the search for more efficient agricultural systems and alternative fertilizers has increased significantly. The objective of this study was to evaluate the productivity and nutrient cycling in the corn-grass-marandu rotation under the residual effect of the application of sewage sludge compost (CLE) in Cerrado soil. The experiment was installed in 2017 under field conditions in Selvíria/MS, with the cultivation of rice (crop) and beans (second crop) in the agricultural years 2017/2018 and 2018/2019. In 2019/20, marandu grass (crop) and corn (second crop) were cultivated, followed again by marandu grass in 2020/21, the last two crops being studied in this research. The experimental design was adopted in randomized blocks, with four replications. The treatments were originated from a 4 x 2 + 2 factorial scheme, as follows: four doses of CLE (10; 15; 20 and 25 t ha<sup>-1</sup>, wet basis) divided into two applications, two application modes (total area and between rows of crops) and two additional treatments (without CLE application and with conventional mineral fertilization (B as boric acid, Zn as zinc sulfate, NPK 8-28-16 in corn and super simple phosphate and potassium chloride for marandu grass)). At the end of the crop cycles, soil samples (0–10 and 10–20 cm depth) were collected to assess soil fertility. Grain yield, biomass production and nutrient accumulation in marandu grass were evaluated. Corn productivity was higher with mineral fertilizer application compared to other treatments, which could not be noticed residual effect of CLE applications. For marandu grass, the two highest doses of CLE provided a higher production of dry matter at the end of the two cuts compared to the other doses. There was an increase in most nutrients accumulated in marandu grass, highlighting the two highest doses of CLE. The levels of P, B and Zn in the soil after crop cultivation increased in response to the application of CLE. It was concluded that there was nutrient cycling by the accumulation of nutrients in marandu grass and increment of nutrients in the soil. In general, the treatment fertilized with mineral fertilizer was superior to those fertilized with CLE and the application of CLE in the total area was more effective.

**Keywords:** *Urochloa brizantha*; *Zea mays* L.; biossolid.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Aplicação do CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b) da cultura do arroz.....	27
<b>Figura 2</b>	- Adubação nitrogenada de cobertura (a) realizada no estádio V6 (b) da cultura do milho.....	29
<b>Figura 3</b>	- Local de estudo: município de Selvíria, MS (a) e imagem aérea da área experimental (b).....	31
<b>Figura 4</b>	- Médias mensais de precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperaturas média, máxima e mínima obtidas durante o cultivo das culturas de milho e capim-marandu (segunda safra de 2020 e safra verão 2020/21).....	31
<b>Figura 5</b>	- Composto de lodo de esgoto (CLE) obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiáí, SP.....	33
<b>Figura 6</b>	- Amostragem de solo (0–10 e 10–20 cm de profundidade) realizada ao final do ciclo das culturas para avaliação dos atributos químicos.....	35
<b>Figura 7</b>	- Visão geral dos blocos cultivados com capim-marandu (a) e palhada remascente do primeiro corte (100 DAE) sob o solo (b).	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Sistema de cultivo, culturas e tratamentos avaliados em função do ano agrícola.....	25
<b>Tabela 2</b>	- Atributos químicos <sup>(1)</sup> e físicos <sup>(2)</sup> das amostras de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico utilizados no experimento (Média ± desvio-padrão; $n = 3$ ).....	26
<b>Tabela 3</b>	- Composição química e microbiológica de amostras do composto de lodo de esgoto (Média ± desvio-padrão; $n = 3$ ).....	34
<b>Tabela 4</b>	- Efeito dos tratamentos na produtividade das plantas de milho em resposta ao efeito residual da aplicação de CLE em solo de Cerrado.....	38
<b>Tabela 5</b>	- Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade após o cultivo de plantas de milho.....	40
<b>Tabela 6</b>	- Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de plantas de milho.....	43
<b>Tabela 7</b>	- Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de plantas de milho.....	46
<b>Tabela 8</b>	- Efeito dos tratamentos no acúmulo total de macronutrientes após dois cortes de capim-marandu aos 100 e 200 DAE.....	48
<b>Tabela 9</b>	- Efeito dos tratamentos no acúmulo total de micronutrientes após dois cortes de capim-marandu aos 100 e 200 DAE.....	50
<b>Tabela 10</b>	- Efeito dos tratamentos na produtividade de fitomassa seca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de dois cortes (100 e 200 dias após a emergência das plantas) de capim-marandu.....	52

<b>Tabela 11</b>	- Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu.....	54
<b>Tabela 12</b>	- Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu.....	57
<b>Tabela 13</b>	- Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu.....	60

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
LE	Lodo de Esgoto
CLE	Composto de Lodo de Esgoto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PD	Plantio Direto
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
RNA	Ácido Desoxirribonucleico
ONU	Organização das Nações Unidas
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
pH	Potencial hidrogeniônico
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação
FEPE	Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão
MS	Mato Grosso do Sul
UNESP	Universidade Estadual Paulista
MO	Matéria Orgânica
NMP	Número Mais Provável
SC	Sucessão
C	Controle
AMC	Adubação Mineral Convencional
SB	Soma de Bases
V	Saturação por Bases
NPK	Nitrogênio – Fósforo – Potássio
DAS	Dias Após a Semeadura
DAE	Dias Após a Emergência
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar

EAA	Espectrofotometria de Absorção Atômica
A	Quantidade Acumulada em kg e g ha <sup>-1</sup>
T	Teor do Elemento na Parte Aérea
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
D	Doses
MA	Modo de Aplicação
TA	Tratamentos Adicionais
CV	Coefficiente de Variação
AT	Área Total
EL	Entrelinhas
NS	Não Significativo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1	LODO DE ESGOTO .....	17
2.2	COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO.....	18
2.3	BENEFÍCIOS DO CLE EM SOLOS DO CERRADO BRASILEIRO .....	19
2.4	IMPORTÂNCIA DO CERRADO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DO BRASIL .....	20
2.5	PLANTIO DIRETO.....	22
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1	HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	25
4.3	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	30
4.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	32
4.5	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO.....	32
4.6	PARÂMETROS AVALIADOS NO EXPERIMENTO .....	34
4.6.1	<b>Solo</b> .....	<b>34</b>
4.6.1.1	<i>Avaliação dos atributos químicos do solo</i> .....	<b>35</b>
4.6.1.2	<i>Avaliação dos teores de macro e micronutrientes do solo</i> .....	<b>36</b>
4.6.2	<b>Produtividade do milho</b> .....	<b>36</b>
4.6.3	<b>Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes na palhada</b> .....	<b>36</b>
4.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	37

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE A – Coeficiente de determinação (<math>R^2</math>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação à produtividade de milho, acúmulo de macronutrientes (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>) e micronutrientes (<math>\text{g ha}^{-1}</math>) e produção de biomassa do capim-marandu em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto. ....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE B – Coeficiente de determinação (<math>R^2</math>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos atributos químicos e nutrientes em diferentes profundidades do solo após o cultivo de milho em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE C – Coeficiente de determinação (<math>R^2</math>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos atributos químicos e nutrientes no solo após o cultivo do capim-marandu em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto. ....</b>	<b>75</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto – LE, que é um resíduo orgânico oriundo do tratamento de esgoto, destaca-se por ser possuir quantidades consideráveis de alguns nutrientes de plantas e matéria orgânica, podendo ser utilizado como fertilizante e/ou condicionador em solos agrícolas (BERTON; NOGUEIRA, 2010; BLOEM *et al.*, 2017).

A reciclagem do LE, via utilização agrônômica, apresenta-se como uma tendência mundial. Países como Irlanda, Dinamarca, Portugal, Espanha, Estados Unidos e França, destinam mais de 50% do lodo produzido no aproveitamento agrícola (MATOS, 2018). Por esta razão, a Resolução Conama 498/20 (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2020), que normatiza o uso agrícola de lodos de esgoto no Brasil, considera essa forma de uso uma alternativa com vantagens ambientais quando comparada a outras práticas. Dessa forma, esse resíduo há anos vem sendo estudado como fonte alternativa na adubação, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais e, com isso, desempenhar um importante papel na produção agrícola e florestal, além de minimizar os custos com fertilizantes inorgânicos (NOGUEIRA *et al.*, 2008; 2013; SOUTO, 2007).

Por outro lado, devido à possível presença de patógenos, compostos orgânicos e metais pesados (p.e. Ba, Cd, Cr, Hg, Pb etc.) no LE, o potencial de contaminação do ambiente tem sido alvo constante de críticas e fator de restrição do seu uso na agricultura. Dessa maneira, os órgãos ambientais passaram a exigir projetos que contemplem o gerenciamento do uso agrícola do lodo, como forma de resguardar a saúde humana e o ambiente (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 1999; CONAMA, 2020).

A compostagem tem sido uma saída encontrada pelas empresas que gerenciam o lodo de algumas Estações de Tratamento de Esgoto – ETE, visando, principalmente, a continuidade da reciclagem desse resíduo na agricultura por meio do composto de lodo de esgoto – CLE (HARGREAVES; ADL; WARMAN, 2008). O CLE pode ser classificado como fertilizante orgânico Classe B, de acordo com as Instruções Normativas da Secretaria de Defesa Agropecuária nº 61, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2020). Esse material, dependendo da sua origem, pode apresentar elevadas quantidades de alguns metais pesados que também são considerados micronutrientes de planta (Cu, Fe, Mn e Zn) (JAKUBUS; BAKINOSKA, 2018; PRATES *et al.*, 2020). Apesar de serem absorvidos

pelas plantas em menores quantidades, esses elementos, somados ao B, Cl e Mo, participam de funções essenciais para a sobrevivência das espécies vegetais (DECHEN *et al.*, 2018).

O milho é um dos cereais mais cultivados e possui papel importante para as relações socioeconômicas em várias regiões do mundo. Devido a ampla versatilidade dessa cultura, tem como característica o alto valor econômico, sendo de grande importância na agricultura mundial (GALINDO *et al.*, 2016; 2018; MODESTO, 2014). Todavia, mesmo com a disponibilidade de avançadas tecnologias, a produtividade média de grãos de milho ( $\approx 4,3$  t por hectare) no Brasil, especialmente na região Centro-Oeste (área de Cerrado), continua sendo considerada baixa em termos de potencial produtivo (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2021).

A cultura do milho tem o seu rendimento afetado por diversos fatores, como o potencial genético, a disponibilidade hídrica, a modernização agrícola e a fertilidade e adubação do solo (VIAN *et al.*, 2016). Os solos do Cerrado brasileiro possuem baixa fertilidade, sendo necessária a correção da acidez e reposição de alguns nutrientes no solo, visando a obtenção de altos rendimentos (MORAES; ABREU-JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010). A cultura do milho, quando cultivada nesses solos, vêm apresentando certa sensibilidade à deficiência de micronutrientes (FANCELLI, 2010; RESENDE, 2003). Contudo, a elevação do consumo e do custo dos fertilizantes minerais tem preocupado o setor agrícola mundial, incentivando a busca pelo uso de fontes alternativas de micronutrientes, a fim de reduzir a demanda por fertilizantes inorgânicos.

O plantio direto (PD) é uma das estratégias mais eficazes para se desenvolver a sustentabilidade agrícola, pois é caracterizado como um sistema conservacionista e utiliza culturas de cobertura, aliado a um manejo adequado de fertilizantes (CAIRES *et al.*, 2015; TANAKA *et al.*, 2019). Por meio da manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, os possíveis distúrbios ao solo são minimizados, bem como há o aumento da produtividade das culturas ao longo do tempo pela rotação de culturas (CAIRES *et al.*, 2015) e ciclagem de nutrientes, especialmente fósforo (P) e potássio (K), alterando a sua disponibilidade para as culturas subsequentes e diminuindo seu potencial de lixiviação (em especial, o nitrogênio – N ) (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 2020). As gramíneas são excelentes alternativas para a região tropical, pelo seu alto potencial de produção de biomassa e

alta tolerância ao estresse por déficit hídrico, em função de suas raízes vigorosas e profundas, superando os invernos secos e solos inférteis (GICHANGI *et al.*, 2017).

Apesar de existirem avanços nas pesquisas de fertilidade do solo e nutrição de plantas, estudos relativos a fontes alternativas de fertilizantes, principalmente, de materiais orgânicos, ainda são escassos. O mesmo pode-se dizer para os estudos realizados com CLE como fornecedor de nutrientes para as culturas agrícolas e florestais. Dessa forma, justifica-se a realização deste estudo, que visa compreender a viabilidade agronômica do CLE como fornecedor de nutrientes por meio da avaliação das alterações dos atributos químicos do solo e suas implicações na produtividade de grãos da cultura do milho e na biomassa e acúmulo de nutrientes do capim-marandu cultivados sob plantio direto, na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 LODO DE ESGOTO

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). Estima-se que no ano de 2016, aproximadamente 500 toneladas por dia de LE desidratado foram geradas nas ETEs da região metropolitana de São Paulo, sendo aterros sanitários o destino final desse produto (LEITE, 2016). Assim, por ser um resíduo gerado em larga escala, é uma fonte constante de preocupação referente à sua disposição final (BELHAJ *et al.*, 2016). Além disso, implica em uma porção significativa dos custos operacionais totais das ETEs (cerca de 50%) (MOREIRA *et al.*, 2019), tornando-se necessária sua reutilização de modo ambiental e economicamente viável (LAMAstra; SUCIU; TREVISAN, 2018). Por este motivo, devido à grande geração de lodo, aliado aos elevados custos operacionais para o tratamento e a disposição final desse resíduo, fez com que muitas pesquisas fossem realizadas no Brasil com o intuito de viabilizar o uso desse resíduo em áreas agrícolas e florestais.

O LE apresenta um grande potencial agrônômico podendo ser utilizado na agricultura como fertilizante orgânico e/ou condicionador de solos (CATOLICO *et al.*, 2015). Nos países altamente industrializados, a disposição final do LE é gerida com logística, princípios relacionados a economia e, principalmente, considerando o aspecto ambiental (JANOWSKA *et al.*, 2017). Em relação ao percentual produzido de LE que vem sendo aplicado na agricultura, tem-se que a Austrália destina 81% desse resíduo em área agrícola, seguida de Luxemburgo (80%), França (75%); Irlanda (70%); Espanha (70%); Reino Unido (65%); Estados Unidos (54%); Dinamarca (50%), Portugal (50%) e Alemanha (25%). No Brasil, menos de 3% do lodo de esgoto produzido é destinado para uso na agricultura (MATOS, 2018), ou, ainda, cerca de 21.000 t por mês (base seca) (SAMPAIO, 2013).

Há muito potencial de reciclagem desses resíduos no Brasil. O país é responsável por gerar 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos – RSU ao ano. Dessa quantidade, em média 45% da massa corresponde à fração orgânica, resíduos verdes e madeiras e sobras de alimento (Associação Brasileira de Empresas

de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, 2020). Somente em 2019, estima-se que foram coletados 65 milhões de toneladas de RSU, mas somente 305 mil toneladas foram recuperadas através da compostagem (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2020).

O LE pode ser uma boa alternativa como fertilizante, pois apresenta em sua composição matéria orgânica e elementos essenciais necessários para o desenvolvimento dos vegetais, podendo ser utilizado na produção agrícola e, substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, promovendo a manutenção da fertilidade do solo, além de prevenir a contaminação e a degradação dos recursos hídricos (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; BITTENCOURT, *et al.*, 2014; NOGUEIRA *et al.*, 2008). Ainda, é tido como uma boa maneira de aumentar a reserva de carbono no solo, devido aos compostos estáveis presentes na matéria orgânica (DIAS *et al.*, 2007).

A aplicação do LE como fertilizante vem sendo estudada em diversas culturas, como: cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, soja, sorgo, milho, feijão, girassol e trigo (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Em muitos casos, essa fonte alternativa de adubação tem proporcionado a essas culturas produtividades equivalentes ou superiores aos tratamentos que receberam apenas a adubação mineral (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

## 2.2 COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO

O composto de lodo de esgoto (CLE), dependendo da sua origem, também pode apresentar em sua composição metais pesados. Entretanto, alguns desses elementos são considerados micronutrientes de planta (p.e. Cu, Fe, Mn, Ni e Zn). Mesmo sendo absorvidos em pequenas quantidades, esses elementos, juntamente com o B, Cl e Mo, tem papel fundamental para a sobrevivência das espécies vegetais, como: ativação de enzimas, formação de parede celular, transporte de sintetizados, fotossíntese, pressão osmótica das células, formação de auxinas, ácido desoxirribonucleico – RNA e ribossomos, aumento no tamanho e multiplicação celular, crescimento do tubo polínico etc. (DECHEN *et al.*, 2018; MALAVOLTA, 2006).

Existem muitas controvérsias que limitam de modo mais amplo o uso de lodo no solo, sendo geradas principalmente pela falta de informações sobre os benefícios e os possíveis riscos ambientais, como os impactos em várias funções do solo, sendo estes, a biodiversidade do solo, ciclos microbianos de matéria orgânica e nutrientes

(SIEBIELEC; SIEBIELEC; LIPSKI, 2018). Por isso, a utilização do LE na agricultura tem sido alvo de constantes críticas em relação a contaminação do solo e do ambiente, tornando o seu uso ainda muito restrito. Dessa maneira, os órgãos ambientais passaram a exigir projetos que contemplem o gerenciamento do uso agrícola do lodo, como forma de resguardar a saúde humana e o ambiente (CONAMA, 2020).

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 (HARGREAVES; ADL; WARMAN, 2008; PRATES *et al.*, 2020). Essa técnica altera a mobilidade dos metais pesados contidos no LE, limitando a sua solubilidade e o seu potencial biodisponível no solo, além de reduzir a sua carga patogênica (HE; TIAN; LIANG, 2009; KHALIL *et al.*, 2011; NOGUEIRA *et al.*, 2007).

### 2.3 BENEFÍCIOS DO CLE EM SOLOS DO CERRADO BRASILEIRO

Os solos do Cerrado Brasileiro, por serem altamente intemperizados, apresentam uma elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa capacidade de troca de cátions, evidenciando assim uma baixa fertilidade natural (LOPES, 1983; LOPES; GUILHERME, 2016). No entanto, com a perspectiva de um crescimento populacional em 2050 de até 9,8 bilhões (Organização das Nações Unidas – ONU, 2017), os solos do Cerrado serão fundamentais para o cultivo de alimentos e matéria-prima (PRATES, 2020). Devido à expansão da agricultura nessas regiões, a fertilização das lavouras com micronutrientes constitui uma prática indispensável para a obtenção de altos rendimentos (MORAES; ABREU-JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010). Ainda, a exploração intensiva por meio do cultivo de variedades com alto potencial de rendimento (alta demanda por nutrientes), acompanhada de calagens e uso crescente de fertilizantes de alta concentração (menores quantidades de micronutrientes como impurezas), está levando a deficiência dos micronutrientes no solo (GALRÃO, 2004).

A utilização de CLE na agricultura, pode se tornar um recurso vantajoso, quando se refere a proporcionar benefícios, como: elevação dos valores de pH do solo, do teor de C orgânico e da capacidade de troca catiônica – 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, e não esquecendo que aplicação desta fonte alternativa pode representar benefício de ordem social, se tratando da disposição final deste resíduo, gerando uma diminuição no impacto negativo em relação ao ambiente (BERTON; NOGUEIRA, 2010; CAMPOS *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2014). Dessa forma, a utilização adequada desta fonte tem o potencial de trazer benefícios para ao ambiente, assim como ganhos para o produtor pelo aumento da produtividade (PEDROSA *et al.*, 2018), pois a sua disposição final se tornou um grande desafio, podendo se transformar em uma fonte poluidora do ambiente (AMRITHA; KUMAR, 2017).

O crescimento da população também promoveu a intensificação no uso de fertilizantes, visto que é necessário manter a segurança alimentar no mundo. Porém, em função do elevado custo desses fertilizantes e por questões ambientais, têm-se notado a busca por fontes alternativas de nutrientes, principalmente, por meio dos fertilizantes orgânicos, como por exemplo a utilização de CLE. A aplicação do CLE em solos do Cerrado não só traz benefícios em relação ao fornecimento de nutrientes, mas também melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos. Assim, o lodo de boa qualidade pode incrementar a atividade e a abundância de bactérias em solos cultiváveis (SIEBIELEC; SIEBIELEC; LIPSKI, 2018). Além disso, espera-se que o uso do lodo de esgoto na agricultura possa contribuir para a reciclagem de nutrientes (CHRISPIM *et al.*, 2020). Entretanto, as melhorias irão variar de acordo com as características e tipo de solos, além das condições climáticas, do tipo de cultura explorada e da frequência das aplicações do resíduo (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

#### 2.4 IMPORTÂNCIA DO CERRADO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DO BRASIL

O Cerrado brasileiro está localizado na vasta região central do país (apresenta 23% do território nacional), e é caracterizado por dois milhões de quilômetros quadrado (LOPES; GUILHERME, 2016), em que representa uma grande importância na produção agrícola do país, concentrando aproximadamente 43% da produção nacional de grãos (CONAB, 2021). Esta região agrícola do Brasil é caracterizada como produtora de grãos e fibras, onde vem sendo notado aumento nas áreas cultivadas nos últimos 30 a 40 anos (RODRIGUES *et al.*, 2016). Tomando por referência a lavoura de milho, uma 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 (p.e. melhoramento genético das plantas) 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 lodo de esgoto, ainda são incipientes.

Na safra do ano agrícola 2020/2021, a produção total brasileira de grãos foi estimada em  $\approx$  252 milhões de toneladas, com uma área plantada de até 65,6 milhões de hectares. A produção do milho segunda safra foi estimada em até 59,5 milhões de toneladas (CONAB, 2021). O milho tendo como característica o alto valor econômico, devido a ampla versatilidade dessa cultura, gera uma importância na agricultura nacional e na balança comercial. O milho é um dos cereais mais cultivados e possui papel importante para as relações socioeconômicas em várias regiões do mundo (MODESTO, 2014). O milho é consumido in natura e também por meio de seus derivados, em que pelo seu processamento podem ser utilizados na indústria alimentícia, fabricação de bebidas, indústria química, mecânica, ração animal e produção de biocombustíveis (CARDOSO *et al.*, 2011).

Estima-se que a região do Cerrado seja responsável por  $\approx$  60% da produção de soja e de milho no Brasil (LOPES; GUILHERME, 2016). Por outro lado, a maior parte dos relatos referentes à deficiência de micronutrientes, especialmente para B e Zn, refere-se às áreas de baixa fertilidade do solo da região dos Cerrados (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001). Assim, o adequado suprimento de nutrientes para essas culturas, seja por meio de fertilizantes orgânicos ou inorgânicos, é fundamental para o ótimo crescimento e obtenção de altas produtividades.

Destaca-se que a cultura do milho apresenta sensibilidade à deficiência de B, Cu, Mn, Mo e Zn (COELHO, 2018; 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). O fornecimento do CLE para essa cultura talvez possa substituir, pelo menos parcialmente, as quantidades de nutrientes aplicados via adubo mineral, pois a liberação lenta e gradual desses elementos oriundos do composto poderá resultar em melhor aproveitamento dos elementos por essas plantas.



## 2.5 PLANTIO DIRETO

O Plantio Direto – PD é um sistema de produção agrícola conservacionista, que se baseia em três pilares: não revolvimento do solo (exceto na linha de semeadura ou cova), rotação de cultivos diversificados e cobertura permanente do solo. É um sistema que proporciona redução da emissão de gases de efeito estufa, da erosão hídrica e eólica dos solos, do uso de combustíveis fósseis e defensivos agrícolas, eleva a infiltração de água e eficiência da adubação, além de recuperar a biodiversidade e incrementar matéria orgânica ao solo, sendo uma prática para uma agricultura sustentável (Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação – FEBRAPDP, 2018).

Para a implantação de um PD, podemos utilizar, a princípio, qualquer planta como planta de cobertura. No entanto, características como grande produção de massa seca, crescimento rápido e elevada permanência dos restos vegetais sobre o solo devem ser consideradas no momento da escolha, como as espécies da família Poaceae (gramíneas). Espécies de maior persistência no solo tem apresentado sucesso no PD em regiões de Cerrado, devido à alta relação C/N e lignina/N, retardando a sua decomposição (TEIXEIRA *et al.*, 2011). Destacam-se o milho (*Zea mays* L.) e as braquiárias, podendo ser exploradas em cultivos exclusivos ou consorciadas (COSTA *et al.*, 2012; FIORENTIN *et al.*, 2011).

As espécies pertencentes ao gênero *Urochloa* são consideradas excelentes alternativas quanto a ciclagem de nutrientes dentro de um sistema de produção. Em função do elevado crescimento de suas raízes e boa resposta a aplicação de fertilizantes, a gramínea cicla no sistema, em média, 154, 20,3 e 238 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, podendo esta quantidade variar com a espécie e o seu tempo de permanência na área (LEITE *et al.*, 2010). Pesquisas sobre o incremento de nutrientes como N, P, K, Ca e Mg foram realizadas demonstrando maior disponibilidade desses elementos a cultura seguinte (PACHECO *et al.*, 2011). O sinergismo fornecido pelas pastagens e culturas anuais, como o milho, tem como benefícios a melhora das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de favorecer a quebra do ciclo de algumas doenças e insetos-pragas, bem como plantas daninhas (VILELA *et al.*, 2011).

A *Urochloa brizantha* é o capim mais cultivado no Brasil, sendo considerado uma das forrageiras mais apropriadas para produção nas condições (p.e. solo e clima)

brasileiras (JÚNIOR *et al.*, 2017; MONTEIRO *et al.*, 1995). Caracteriza-se por ser uma espécie que possui boa adaptação edafoclimática, com boa resistência à seca, tornando-se uma alternativa interessante para as condições de clima tropical existentes no Cerrado (OLIVEIRA; FLORES; MELO, 2019). Além de responder bem à aplicação de fertilizantes, o cultivar Marandu proporciona um aumento da capacidade de armazenamento de água pelo solo, melhoria das características físicas, absorção de nutrientes das camadas subsuperficiais e posterior liberação na camada superficial (ciclagem de nutrientes no sistema), e aumento no teor de matéria orgânica, por sua abundante produção de raízes e capacidade de estruturação do solo (PARIZ *et al.*, 2011; SOUSA, 2019).

O cálculo das doses de LE para aplicação em solos agrícolas é baseado no fornecimento de N e P. Isso se deve ao fato desses elementos serem encontrados em maior quantidade no resíduo e por serem poluentes potenciais de corpos d'água. Dessa forma, a conservação do sistema agrícola consegue proporcionar uma ciclagem desses nutrientes, por meio das plantas de cobertura, que evitam a lixiviação desses nutrientes e possibilitam a mobilidade desses elementos da camada subsuperficial para a camada superficial. Assim, as culturas subsequentes obtêm uma adequada nutrição ao longo do ciclo, proporcionando um menor uso de fertilizantes inorgânicos e demais benefícios indiretos citados no presente projeto.

### 3 OBJETIVOS

Objetivou-se, com este estudo, avaliar a ciclagem de nutrientes por da sucessão milho-capim-marandu sob o efeito residual de duas aplicações consecutivas do composto de lodo de esgoto e suas implicações: (i) na produtividade de grãos de milho, (ii) no acúmulo de biomassa e de nutrientes no capim-marandu e (iii) na fertilidade do solo, sendo ambas as culturas cultivados na região do Cerrado de baixa altitude sob plantio direto.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O solo da área experimental vinha sendo cultivado com milho em sistema convencional, sem irrigação, por aproximadamente 10 anos. O experimento foi iniciado em condições de campo em agosto de 2017, no qual foi cultivado sucessivamente por dois anos (2017/18 e 2018/19) a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) cv. BRS Esmeralda no verão e o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. BRS Estilo no inverno. No ano agrícola 2019/20, foi implantado o sistema PD por meio do cultivo do capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) no verão e do híbrido de milho (*Zea mays* L.) AG 7098 na segunda safra. Já no ano agrícola 2020/21, foi cultivado o capim-marandu na primeira safra e milheto na segunda safra (Tabela 1).

Tabela 1 – Sistema de cultivo, culturas e tratamentos avaliados em função do ano agrícola

Ano agrícola	Tratamentos	Sistema de cultivo e culturas estudadas
2017/18	5,0; 7,5; 10,0; 12,5 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida); C e AMC	SC = 1 <sup>a</sup> safra: arroz/2 <sup>a</sup> safra: feijão
2018/19	10; 15; 20; 25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida); C e AMC	SC = 1 <sup>a</sup> safra: arroz/2 <sup>a</sup> safra: feijão
2019/20	Efeito residual do CLE; C e AMC	PD = capim-marandu/milho/ capim-marandu
2020/21	Efeito residual do CLE; C e AMC	PD = capim-marandu.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

CLE: Composto de lodo de esgoto. SC: Sucessão. PD: Plantio direto. C: Controle. AMC: Adubação mineral convencional.

Antes da instalação do experimento e aplicação dos tratamentos, foram realizadas amostragens do solo nas camadas de 0–0,2 e 0,2–0,4 m de profundidade para caracterizações física (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e química (RAIJ *et al.*, 2001) (Tabela 2). O preparo inicial da área experimental foi realizado em setembro de 2017, época em que foi realizada uma subsolagem até 30 cm de profundidade. Com base nos resultados da avaliação da fertilidade do solo, foi realizada a calagem (2,2 t ha<sup>-1</sup>)

objetivando elevar a saturação por bases a 70% e, em seguida, aplicação de 1,8 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (RAIJ *et al.*, 1997).

Tabela 2 – Atributos químicos<sup>(1)</sup> e físicos<sup>(2)</sup> das amostras de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico utilizados no experimento  
(Média ± desvio-padrão; n = 3)

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

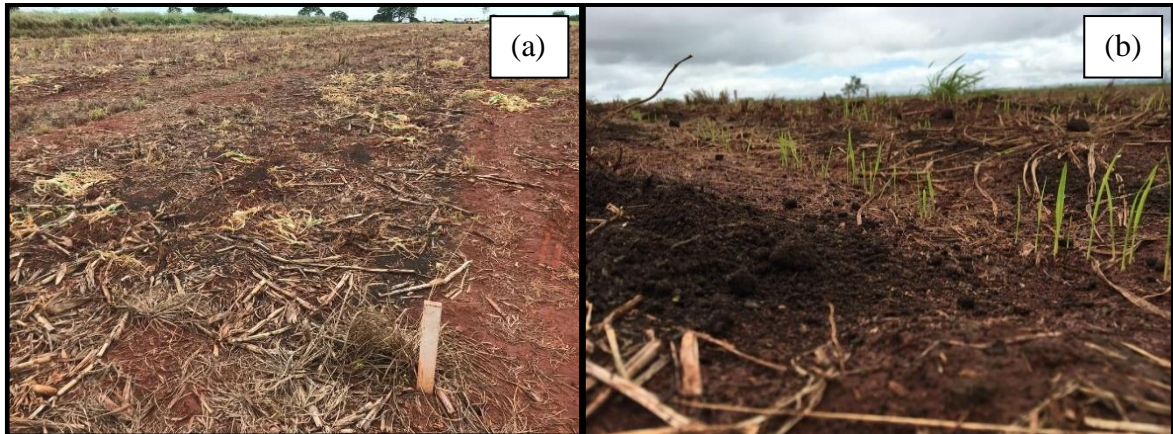
Fonte: (Prates, 2020).

<sup>(1)</sup>Raij *et al.* (2001). <sup>(2)</sup>Teixeira *et al.* (2017). CTC = Capacidade de troca catiônica. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases.

Nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19, antes da aplicação do CLE, aproximadamente 15 dias antes da semeadura, realizou-se a dessecação da cobertura vegetal da área previamente definida mediante a aplicação de herbicida glifosato (1.800 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e 2,4-D (670 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Na sequência, em função dos tratamentos, o CLE foi distribuído de forma manual em área total ou na entrelinha das plantas de arroz, levando-se em conta a umidade do material (Figura 1). 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 da cultura do arroz.

Figura 1 – Aplicação do CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b) da cultura do arroz.



Fonte: GENAFERT (2017).

Nos primeiros dois anos, cada unidade experimental foi constituída por dez linhas da cultura do arroz e sete linhas da cultura do feijão (espaçadas entre si de 0,35 e 0,45 m, respectivamente) de 10 metros de comprimento, totalizando 31,5 m<sup>2</sup> por parcela e 1.260 m<sup>2</sup> de área total. Já no terceiro ano, cada unidade experimental foi constituída por dez linhas do capim-marandu (espaçadas entre si de 0,35 m) e sete linhas da cultura do milho (espaçadas entre si de 0,45 m), de 10 metros de comprimento, totalizando 35 m<sup>2</sup> por parcela e 1400 m<sup>2</sup> de área total. A área útil da parcela é constituída pelas três linhas centrais de milho, sendo eliminados como bordadura 2,5 m de cada extremidade.

Anteriormente a semeadura das culturas nos dois primeiros anos, foi realizado o tratamento das sementes por meio dos fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina (5 g + 45 g do i.a. por 100 kg de semente) e do inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente). As sementes de feijão também foram inoculadas com *Rhizobium tropici* (80 g de inoculante para cada 50 kg de semente). A semeadura do cultivar de arroz BRS Esmeralda na safra (25/11/17 e 03/11/18) e do cultivar de feijão BRS Estilo na segunda safra (05/05/18 e 08/05/19), foram realizadas mecanicamente.

Todos os tratamentos com o CLE receberam a complementação mineral para o fornecimento dos macronutrientes para a cultura do arroz levando-se em

consideração as análises químicas do solo e as recomendações contidas no Boletim 100 (RAIJ *et al.*, 1997). Para tal, na adubação de semeadura da cultura do arroz utilizou-se 300 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 8-28-16 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), sendo colocados 24 kg ha<sup>-1</sup> de N, 84 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 48 g ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na safra dos dois anos agrícolas. Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foram aplicados 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de boro usando-se ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) em ambas as safras, e zinco na forma de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>) nas doses de 5,0 kg ha<sup>-1</sup> e 3,0 kg ha<sup>-1</sup> nas safras dos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19, respectivamente. A adubação nitrogenada de cobertura (dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia) no arroz foi parcelada em duas vezes, com metade da dose aplicada na fase do perfilhamento e metade no início da diferenciação da panícula (RAIJ *et al.*, 1997). Após a adubação de cobertura a área foi irrigada via pivô central (lâmina de 14 mm) para minimizar as perdas de N por volatilização.

Na semeadura do feijão, em ambos os anos agrícolas foi utilizada a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> do adubo de formulação 04-20-20 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), sendo colocados 16 kg ha<sup>-1</sup> de N, 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, somente nas parcelas de adubação convencional. Neste mesmo tratamento, também foi realizada a adubação com micronutrientes, sendo de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de boro na forma de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Já a adubação nitrogenada de cobertura teve sua dose dividida em duas aplicações, sendo 50,0 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia) aos 15 dias após a semeadura (DAS) e 40,0 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 30 DAS nas parcelas de tratamento convencional, e apenas 50 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 15 DAS nas parcelas que receberam adição do CLE. Na safra do ano agrícola 2018/19, somente as parcelas com adubação convencional receberam a aplicação de ureia, na mesma dose do ano anterior (90 kg ha<sup>-1</sup> de N). A distribuição dos fertilizantes minerais foi realizada de forma manual, 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 as aplicações, a área foi irrigada via pivô central.

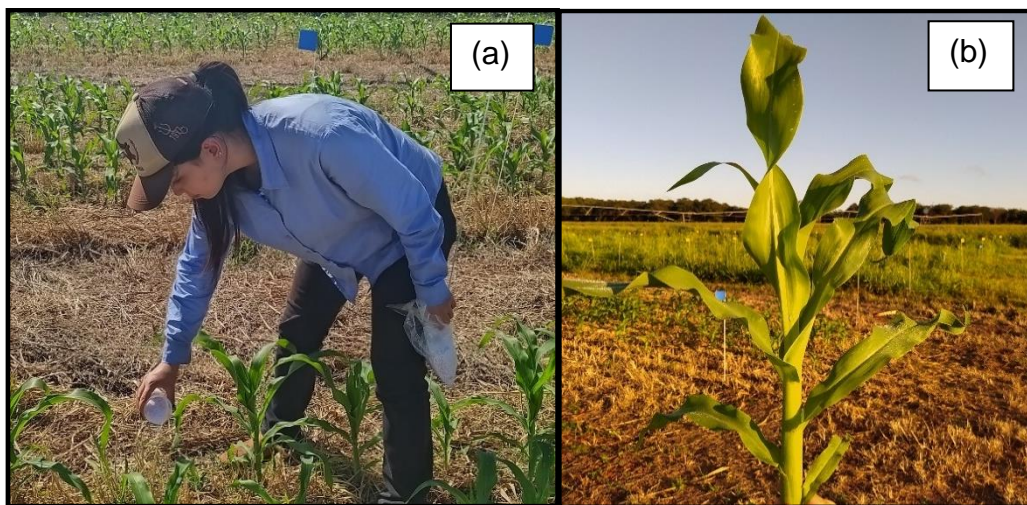
Após a colheita do feijão em agosto de 2019, a área permaneceu em pousio até a semeadura da cultura de cobertura (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) em rotação com a cultura do milho segunda safra, no ano agrícola de 2019/20. Aproximadamente 15 dias antes da semeadura das culturas (20/11/2019 e 03/03/2020), foi realizada a dessecação da cobertura vegetal da área mediante a aplicação de herbicida glifosato (1.800 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e 2,4-D (670 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Na semeadura do capim-marandu,

somente as parcelas de adubação mineral convencional foram adubadas com 40 kg ha<sup>-1</sup> de P (na forma de superfosfato simples). Ainda, apenas neste tratamento, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura aos 50 DAS, com a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia). Foram realizados dois cortes para estimar a biomassa e analisar os teores de nutrientes contidos na planta, aos 50 dias após a emergência (DAE) e 100 DAE.

#### 4.2 INSTALAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Na segunda safra (2019/20), a cultura do milho (híbrido AG 7098) foi semeada em 18/03/2020. Na adubação de semeadura das parcelas de adubação convencional, foram utilizados 320 kg ha<sup>-1</sup> do adubo NPK de formulação 08-28-16 (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), sendo colocados 25,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, 89,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 51,2 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e foi realizada a adubação com micronutrientes na dose de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B na forma de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada aplicando-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia) somente nas parcelas de adubação convencional, quando as plantas atingiram o estágio V6 (20 dias após a emergência das plantas) (Figura 2).

Figura 2 – Adubação nitrogenada de cobertura (a) realizada no estágio V6 (b) da cultura do milho.



Fonte: Elaboração do próprio autor.



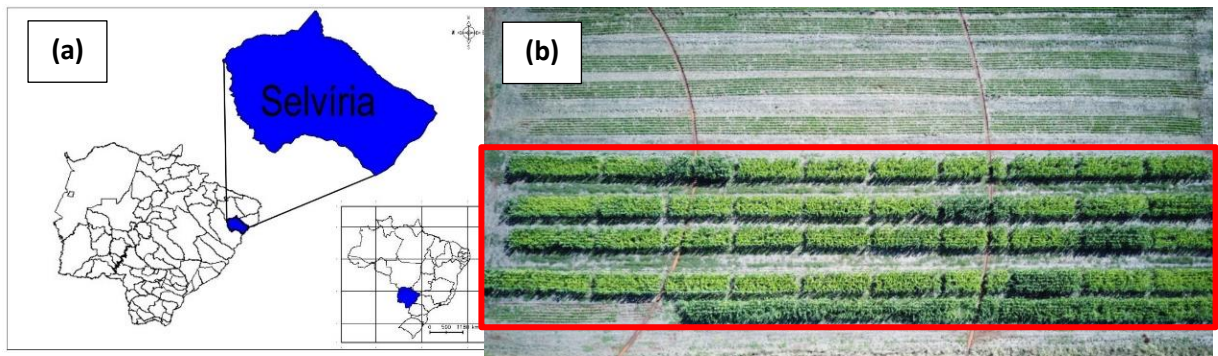
Após a colheita do milho, a área foi dessecada com os mesmos herbicidas e doses utilizados nas culturas anteriores. A semeadura do capim-marandu foi realizada em 26/08/2020, com emergência das plântulas em 07/09/2020. A adubação foi realizada somente nas parcelas de adubação mineral convencional, com a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (na forma de cloreto de potássio) e 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (na forma de superfosfato simples). A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada 30 DAE com a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia) e após o primeiro corte do capim, na mesma dose. Para o cálculo de produção de biomassa e posteriores análises de acúmulo de nutrientes, foi feito o primeiro corte aos 100 DAE (17/12/2020), coletando-se cerca de 1 m<sup>2</sup> dentro da área útil da parcela. O segundo corte foi feito aos 200 DAE (25/03/2021). Ambos os cortes foram feitos manualmente com o auxílio de um cutelo e um quadrado de ferro, rente ao solo. O monitoramento da adubação, irrigação e manejo fitossanitário, foi realizado de acordo com os cultivos anteriores e conforme as recomendações técnicas para as culturas na região.

#### 4.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido em condições de campo, na segunda safra do ano agrícola 2019/20 e safra verão do ano agrícola 2020/21, na área experimental do Setor de Produção Vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da UNESP, no município de Selvíria, MS, apresentando as coordenadas geográficas de 20°20'35" S e 51°24'04" W, com altitude de 358 m (Figura 3).

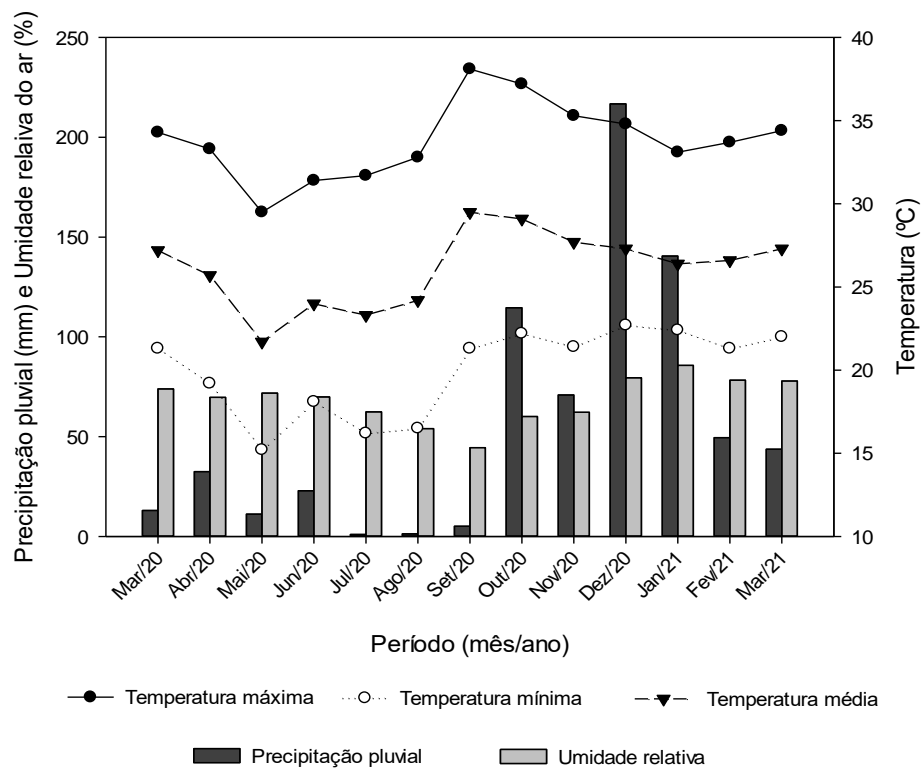
A região apresenta médias anuais de: precipitação pluvial de 1.370 mm, temperatura de 24,5 °C e umidade relativa do ar de 75%. O tipo climático da região é o Aw segundo classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). Durante toda a realização do experimento, foram monitoradas as médias mensais de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar e precipitação pluvial (Figura 4).

Figura 3 – Local de estudo: município de Selvíria, MS (a) e imagem aérea da área experimental (b).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 4 – Médias mensais de precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperaturas média, máxima e mínima obtidas durante o cultivo das culturas de milho e capim-marandu (segunda safra de 2020 e safra verão 2020/21).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

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.

#### 4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos foram originados de esquema fatorial  $4 \times 2 + 2$ , sendo: quatro doses de composto de lodo de esgoto – CLE (5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 t ha<sup>-1</sup>, base úmida) aplicadas na safra 2017/18, dois modos de aplicação (área total e nas entrelinhas das culturas) e dois tratamentos adicionais (*i.* controle: sem aplicação do CLE e de adubos minerais e *ii.* Adubação convencional: apenas fornecimento de fertilizantes minerais, sendo eles NPK 8-28-16, super fosfato simples, cloreto de potássio, ácido bórico e sulfato de zinco, aplicados durante os cultivos estudados). Na safra do ano agrícola 2018/19, os tratamentos em doses acumuladas nos dois anos foram: 10, 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE, base úmida. Na presente proposta, objetivou-se avaliar o efeito residual dessas aplicações de CLE.

#### 4.5 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO

O composto de lodo de esgoto (CLE) foi obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiaí, SP (Figura 5). Trata-se de um fertilizante orgânico composto Classe B, produzido a partir da compostagem termofílica de resíduos orgânicos urbanos diversos. A principal matéria prima que compõe o produto é o lodo de esgoto sanitário, cerca de 70% em massa, advindo do tratamento de esgotos sanitários em Jundiaí e Municípios vizinhos, tais como: Campinas, Valinhos, Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Itatiba, Cabreúva, Itupeva, Rio Claro, entre outros. Além do lodo de esgoto, também entra no processo de compostagem lodos de Sistemas de Tratamento de Águas Residuárias geradas em Agroindústrias, tais como cervejarias e indústrias de alimentos diversos, restos de frutas, legumes e verduras, pré e pós consumo, segregados na fonte e coletados de forma diferenciada, restos de produtos alimentícios industrializados e inservíveis, entre outros.

Figura 5 – Composto de lodo de esgoto (CLE) obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiaí, SP.



Fonte: GENAFERT (2017).

A compostagem dos resíduos orgânicos é feita em duas concepções: leiras aeradas por revolvimento mecânico e leiras estáticas com aeração forçada. Em ambos os processos a fonte de carbono orgânico utilizada é o cavaco de madeira bruta. O composto, ainda em sua fase de processamento, também é aditivado, em proporções abaixo de 5 % da massa final do produto, com calcário e gesso agrícola. Após higienização e alcance do teor de umidade ideal (cerca de 40%), o composto é peneirado e empilhado para maturação por um mínimo de 15 dias, dando origem ao produto fertilizante orgânico.

Para a caracterização do CLE aplicado nos dois anos agrícolas, foram coletadas seis amostras simples em diferentes pontos do composto, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. O composto foi caracterizado do ponto de vista químico (pH, CTC, MO, C-orgânico, umidade, As, Ba, B, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, N, Na, Ni, P, Pb, S, Se e Zn) e microbiológico (coliformes termotolerantes, *Salmonella* Sp. e ovos viáveis de helmintos), seguindo as recomendações preconizadas na Resolução nº 498 do Conama (CONAMA, 2020), sendo considerado apropriado para uso nesse estudo (Tabela 3).

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

Característica	Unidade	2017/18	2018/19	Valor permitido <sup>(1)</sup>
<i>Química</i>		———— Base úmida ————		
pH <sub>(CaCl2)</sub>	-	7,0 ± 0,10	7,3 ± 0,06	-- <sup>(2)</sup>
Umidade (60–65 °C)	%	40,96 ± 0,26	34,43 ± 0,53	--
Umidade Total	%	45,46 ± 0,22	35,77 ± 0,61	--
Matéria Orgânica	Total g kg <sup>-1</sup>	308,65 ± 9,95	255,0 ± 7,37	--
Carbono Orgânico	g kg <sup>-1</sup>	153,10 ± 4,80	128,6 ± 3,57	--
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	520 ± 20,00	--	--
C/N	-	12 ± 0,81	9 ± 0,58	--
Nitrogênio Total	g kg <sup>-1</sup>	13,85 ± 0,25	15,3 ± 1,53	--
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Total	g kg <sup>-1</sup>	12,25 ± 1,35	14,1 ± 0,00	--
Potássio (K <sub>2</sub> O) Total	g kg <sup>-1</sup>	6,00 ± 2,20	8,2 ± 0,38	--
Cálcio (Ca) Total	g kg <sup>-1</sup>	19,40 ± 4,40	31,1 ± 1,08	--
Magnésio (Mg) Total	g kg <sup>-1</sup>	5,20 ± 0,50	9,9 ± 0,21	--
Enxofre (S) Total	g kg <sup>-1</sup>	4,75 ± 0,25	8,4 ± 1,44	--
Sódio (Na) Total	mg kg <sup>-1</sup>	3930 ± 32,00	3915 ± 41,22	--
Arsênio	mg kg <sup>-1</sup>	3,15 ± 1,76	--	20,0
Boro	mg kg <sup>-1</sup>	94 ± 4,52	94 ± 4,58	--
Cádmio	mg kg <sup>-1</sup>	1,00 ± 0,01	--	3,0
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	237 ± 16,54	1912 ± 5,77	--
Chumbo	mg kg <sup>-1</sup>	18,10 ± 1,60	--	150,0
Cromo	mg kg <sup>-1</sup>	54,25 ± 1,75	--	--
Ferro	mg kg <sup>-1</sup>	16400 ± 1300	14708 ± 249	--
Manganês	mg kg <sup>-1</sup>	246 ± 37,00	310 ± 15,01	--
Mercúrio	mg kg <sup>-1</sup>	0,22 ± 0,09	--	1,0
Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	5,26 ± 0,23	--	--
Níquel	mg kg <sup>-1</sup>	26,52 ± 0,50	--	70,0
Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	456 ± 8,00	684 ± 7,21	--
<i>Microbiológica</i>				
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/10g		Ausente	Ausência em 10 g de
Coliformes Termotolerantes	NMP/g		0	1.000,0
Ovos Viáveis de Helminthos	Ovos/g de		0,12	1,0

Fonte: Prates (2020)

<sup>(1)</sup> Instrução normativa Nº 61 MAPA (2020). <sup>(2)</sup> Não determinado. NMP = Número mais provável. CTC: Capacidade de troca catiônica.

## 4.6 PARÂMETROS AVALIADOS NO EXPERIMENTO

### 4.6.1 Solo

A amostragem do solo (0–10 e 10–20 cm de profundidade) foi realizada ao final do ciclo da cultura do milho (11/08/2020) e do capim-marandu (21/04/2021), dentro da área útil de cada parcela, visto que a dinâmica de nutrientes e matéria orgânica em

um sistema Plantio Direto é maior nestas camadas. Foram coletadas cinco subamostras por parcela nas entrelinhas da cultura, aleatoriamente, para compor uma amostra composta. Essas amostras foram retiradas com o auxílio de um amostrador mecânico (marca Still) (Figura 6) e, na sequência, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha, acondicionadas em sacos de polietileno, identificadas e armazenadas em câmara seca até o momento das análises.

Figura 6 – Amostragem de solo (0–10 e 10–20 cm de profundidade) realizada ao final do ciclo das culturas para avaliação dos atributos químicos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### **4.6.1.1 Avaliação dos atributos químicos do solo**

Os atributos químicos do solo foram avaliados conforme os protocolos analíticos descritos em Raij *et al.* (2001). Dessa forma, os valores de pH foram determinados potenciométricamente em suspensões de terra fina seca ao ar (TFSA) em solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  na proporção solo-solução de 1:2,5. A matéria orgânica foi determinada após oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e titulação do excesso de dicromato com a solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ . O alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ) foi extraído com  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e depois titulado com  $\text{NaOH}$ - $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . A acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ ) foi estimada pelo método do pH SMP. A partir dos teores de cálcio, magnésio e potássio, foram calculadas a CTC a pH 7,0, a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V).

#### **4.6.1.2 Avaliação dos teores de macro e micronutrientes do solo**

Os teores de macro e micronutrientes no solo foram avaliados conforme metodologia descrita por Raij *et al.* (2001). O cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) trocável foram extraídos por resina trocadora de íons e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica – EAA (Modelo Varian SpectrAA-55B, Varian, CA, EUA). O potássio ( $\text{K}^+$ ) trocável e o fósforo (P) foram extraídos também por resina, sendo o  $\text{K}^+$  determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. O enxofre foi extraído por solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e posterior medição da turbidez formada pela precipitação do sulfato pelo cloreto de bário, em colorimetria. Os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn no solo foram obtidos por meio do extrator químico DTPA em pH 7,3 (ABREU *et al.*, 2001a), sendo procedida a determinação por EAA. O teor de B no solo foi avaliado por meio de extração com cloreto de bário, usando aquecimento com forno de micro-ondas e quantificado em espectrofotômetro UV-VIS a 420 nm (ABREU *et al.*, 2001b).

#### **4.6.2 Produtividade do milho**

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 dados em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

#### **4.6.3 Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes na palhada**

Para avaliar a produção de biomassa do capim-marandu, foram realizados dois cortes, aos 100 e 200 DAE, em quatro pontos por parcela coletados aleatoriamente rente ao solo, com o auxílio de um quadrado de  $0,25 \text{ m}^2$ . As amostras foram lavadas em água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 72 h, e posteriormente pesadas para obtenção da biomassa seca. As amostras foram então moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em sacos de polietileno até o momento das análises, para determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Com base nos teores de macro e micronutrientes e na produção de matéria seca, foram calculadas as quantidades acumuladas desses elementos na parte aérea do capim, pela seguinte

fórmula:  $A = T \times \text{MSPA}$ , em que: A é a quantidade acumulada em kg e g ha<sup>-1</sup>; T é o teor do elemento na parte aérea, em g ou mg kg<sup>-1</sup>; e MSPA é a matéria seca da parte aérea, em kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ), nos casos em que o teste F foi significativo (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), para avaliar o efeito dos modos de aplicação. Ainda, por meio do teste de Dunnett ( $P < 0,05$ ) foram verificadas as diferenças entre as doses de CLE e os tratamentos adicionais dentro de cada modo de aplicação do composto. Também foram realizados estudos de regressão polinomial para as interações significativas, e/ou efeito de doses. A análise estatística foi realizada utilizando o programa AgroEstat (BARBOSA; MALDONATO, 2009) e o RStudio (RSTUDIO, 2020).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses e o modo de aplicação do CLE não influenciaram a produtividade da cultura do milho (Tabela 4). Somente foi observada diferença entre os tratamentos adicionais e o fatorial. O tratamento controle não diferiu dos demais tratamentos, exceto das parcelas adubadas com fertilizante mineral. Os valores obtidos para a produtividade das plantas de milho cultivadas nos tratamentos que receberam CLE em área total, variaram de 3.081 a 3.813 kg ha<sup>-1</sup>. Já para as plantas cultivadas nos tratamentos que receberam aplicações de doses de CLE nas entrelinhas das culturas, as produtividades variaram de 3.190 a 3.758 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, a média de produtividade do tratamento com adubação mineral (6.548 kg ha<sup>-1</sup>) foi maior que a produtividade média nacional daquele ano (5.456 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2020).

Tabela 4 – Efeito dos tratamentos na produtividade das plantas de milho em resposta ao efeito residual da aplicação de CLE em solo de Cerrado

Tratamento	Produtividade	
	AT	EL
	kg ha <sup>-1</sup>	
Controle (C)		2898▲
Adubação mineral convencional		6548●
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	3240▲	3758▲
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	3698▲	3466▲
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	3081▲	3190▲
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	3813▲	3564▲
Teste F		
Doses (D)		0,83 <sup>NS</sup>
Modo de aplicação (MA)		0,02 <sup>NS</sup>
D x MA		0,47 <sup>NS</sup>
TA x [D x MA]		17,90 <sup>**</sup>
CV (%)		20,02

\*\* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ▲, ● Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Assim, por meio dos menores valores de produtividade encontrados nos tratamentos que receberam aplicação de CLE, é possível evidenciar que o efeito residual das duas aplicações do CLE não foi capaz de manter o adequado estado

nutricional das plantas de milho, refletindo em menor desenvolvimento e produtividade.

Efeito contrário foi encontrado no estudo de Prates (2020), no qual a produtividade da cultura do milho cultivada sob efeito residual da aplicação de composto de lodo de esgoto foi semelhante ao tratamento controle adubado com fertilizantes minerais. No entanto, foi realizada uma adubação nitrogenada em cobertura em todos os tratamentos, indicando que a deficiência de N verificada na avaliação do estado nutricional (dados não apresentados) pode ter afetado a produção de grãos.

Em relação aos atributos químicos do solo após o cultivo de milho (Tabela 5), na camada 0–10 cm de profundidade, responderam ao efeito do modo de aplicação a matéria orgânica (MO) (médias de AT: 19,75; EL: 19,44 g dm<sup>-3</sup>), a acidez potencial (H+Al) e a saturação por bases (V). Em relação a interação entre os fatores, somente a MO e a H+Al não foram significativas, e apenas a MO não demonstrou diferença entre os tratamentos adicionais com o fatorial. Houve ajuste linear positivo (Apêndice A) para pH, SB e V em ambos os modos de aplicação, e para CTC em área total. Já o H+Al apresentou ajuste linear negativo em ambos os modos de aplicação.

Resultado semelhante foi encontrado por Abreu *et al.* (2016), no qual relataram redução da acidez potencial do solo na camada 0–10 cm de profundidade com a aplicação de LE. Bertolazi *et al.* (2016) observaram efeito benéfico da aplicação de CLE na CTC do solo, o qual atribuíram ao aumento das cargas negativas pela adição de MO e ampliação do “reservatório” nutricional, além de proporcionar um incremento de nutrientes elevando, assim, a SB e o V por meio dos cátions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>.

Os tratamentos adicionais não diferiram para a MO na profundidade de 0–10 cm. Já o pH no tratamento controle foi menor que a dose de 25 t ha<sup>-1</sup> aplicada nas entrelinhas da cultura. O tratamento AMC foi inferior a todos os tratamentos, exceto da dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total. Os tratamentos adicionais em relação ao atributo H+Al não diferiram entre si, mas sim da dose 20 t ha<sup>-1</sup> em área total e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE nas entrelinhas, apresentando maior acidez. O teor de Al foi maior no tratamento controle e na SB o tratamento controle diferiu da dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, mostrando o aumento dos teores de íons catiônicos quando aplicado o CLE.

Tabela 5 – Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade após o cultivo de plantas de milho

Tratamento	MO		pH		H + Al		Al		SB		V		CTC	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	g dm <sup>-3</sup>		CaCl <sub>2</sub>				mmolc dm <sup>-3</sup>				%		mmolc dm <sup>-3</sup>	
	0-10 cm													
Controle	20,25		5,65*		25,00*		0,75*		40,95*		62,00*		65,95*	
Adubação mineral convencional	20,00		5,22 <sup>▲</sup>		25,00*		0,0 <sup>▲</sup>		28,32 <sup>▲</sup>		53,00 <sup>▲</sup>		53,32 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	19,00	18,25	5,40B* <sup>▲</sup>	5,72B*	27,00A*	23,00B*	0,0 <sup>▲</sup>	0,0 <sup>▲</sup>	37,67B* <sup>▲</sup>	49,80A*	58,00B* <sup>▲</sup>	68,25A*	64,67B*	72,80A*
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	20,75	20,75	5,72*	5,72*	24,25*	22,25*	0,0 <sup>▲</sup>	0,0 <sup>▲</sup>	49,42*	48,65*	67,00*	68,75*	73,67*	70,90*
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	19,00	19,00	5,87*	5,82*	20,00 <sup>▲</sup>	21,75*	0,0 <sup>▲</sup>	0,0 <sup>▲</sup>	51,75*	54,62	72,00	71,50	71,75*	76,37
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	20,25	19,75	5,87*	5,90	21,75*	20,00 <sup>▲</sup>	0,0 <sup>▲</sup>	0,0 <sup>▲</sup>	61,37	57,57	73,50	74,00	79,00	77,57
Teste F														
Doses (D)	0,62 <sup>NS</sup>		9,72**		7,60*		---		16,74**		17,25**		8,23**	
Modos de Aplicação (MA)	5,90**		2,54 <sup>NS</sup>		4,24*		---		2,57 <sup>NS</sup>		7,07*		2,38 <sup>NS</sup>	
D x MA	0,22 <sup>NS</sup>		3,25*		2,69 <sup>NS</sup>		---		4,52*		4,76**		3,43*	
TA x [D x MA]	1,43 <sup>NS</sup>		39,67**		9,42**		9,82**		84,68**		84,95**		78,44**	
CV (%)	5,70		2,33		8,95		403,68		9,57		4,77		5,54	
	10-20 cm													
Controle	18,00		5,4*		29,00*		0,0*		35,35*		55,00		64,35*	
Adubação mineral convencional	18,00		5,1 <sup>▲</sup>		28,00 <sup>▲</sup>		1,0 <sup>▲</sup>		26,42 <sup>▲</sup>		49,50		52,22 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	18,25A	16,75B	5,27B* <sup>▲</sup>	5,57A*	28,00A* <sup>▲</sup>	24,00B <sup>▲</sup>	0,25*	0,0*	27,00B <sup>▲</sup>	36,37A*	53,50	60,0	56,12 <sup>▲</sup>	60,37*
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	16,00B	17,75A	5,42* <sup>▲</sup>	5,47*	28,00* <sup>▲</sup>	28,00* <sup>▲</sup>	0,0*	0,0*	35,42*	37,95*	56,00	57,50	63,42*	65,95*
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	16,25	17,25	5,47*	5,47*	28,00* <sup>▲</sup>	27,00* <sup>▲</sup>	0,0*	0,0*	38,07*	34,32* <sup>▲</sup>	57,75	55,75	66,07A*	61,32B*
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	17,75	17,25	5,32* <sup>▲</sup>	5,50*	31,00A* <sup>▲</sup>	26,00B* <sup>▲</sup>	0,0*	0,0*	34,87B*	39,92A*	53,00B	60,50A	65,87*	65,92*
Teste F														
Doses (D)	1,49 <sup>NS</sup>		0,25 <sup>NS</sup>		1,25 <sup>NS</sup>		0,13 <sup>NS</sup>		6,56**		----		10,11**	
Modos de Aplicação (MA)	0,33 <sup>NS</sup>		5,64*		6,68*		0,13 <sup>NS</sup>		10,68**		3,92 <sup>NS</sup>		0,24 <sup>NS</sup>	
D x MA	4,99**		1,48 <sup>NS</sup>		1,51 <sup>NS</sup>		0,13 <sup>NS</sup>		7,38**		1,70 <sup>NS</sup>		3,39*	
TA x [D x MA]	5,31*		9,52**		0,85 <sup>NS</sup>		6,05*		16,65**		5,58*		16,66**	
CV (%)	5,34		2,89		9,87		385,66		8,25		8,62		4,83	

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲ , ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais. MO = Matéria orgânica. pH = Potencial hidrogeniônico. H + Al = Acidez potencial. Al = Alumínio. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases. CTC = Capacidade de troca catiônica.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para a saturação de bases (V), nos tratamentos controle e o AMC, houve diferença nas duas últimas doses em ambos os modos de aplicação, sendo que estas últimas apresentaram valores mais elevados, acima de 70%. Por último, a CTC teve o mesmo comportamento da V, no qual os tratamentos adicionais diferiram da dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, sendo que o tratamento AMC também diferiu dos demais por ter apresentado uma CTC baixa.

De modo geral, não houve diferença entre os tratamentos adubados com CLE. No entanto, pode-se observar um incremento da CTC de 53 no tratamento AMC para 79 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> quando houve aplicação de CLE em área total na maior dose, indicando que houve ocorreu um aumento no teor de nutrientes, especialmente os catiônicos, evidenciado também pela SB e V.

Na camada de solo 10–20 cm de profundidade, foram influenciados pelos modos de aplicação somente o pH (médias de AT: 5,37; EL: 5,50), a H+Al (AT: 28,75; EL: 26,25 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e a soma de bases (SB) (AT: 33,84; EL: 37,14 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Em relação a interação entre os fatores, somente a MO, SB e CTC apresentaram diferença. Já na interação entre os tratamentos adicionais e o fatorial, somente o H+Al se apresentou não significativo.

Na análise de regressão (Apêndice B), verificou-se ajustes somente quando o CLE foi aplicado em área total, sendo notado incremento linear para CTC, efeito quadrático positivo para MO e quadrático negativo para SB.

Não houve diferença dos tratamentos adicionais e dos demais tratamentos para a MO. Já os valores de pH foram inferiores no tratamento AMC, apresentando diferença com a dose 20 t ha<sup>-1</sup> em área total, e todas as doses de CLE aplicadas nas entrelinhas. Efeito contrário foi observado por Alvarenga *et al.* (2016), no qual verificaram aumento significativo de MO com doses elevadas de CLE e lodo desidratado nas doses 12 e 24 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, assim como a diminuição do pH do solo.

Para o H+Al, somente o tratamento controle diferiu da dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicada nas entrelinhas, sendo superior. O teor de Al foi maior somente no tratamento AMC em relação aos demais. A SB no tratamento controle só foi maior que a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total, e o tratamento AMC foi inferior a todos, exceto da dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total e 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. O V não apresentou quaisquer diferenças dos tratamentos adicionais os demais tratamentos, e a CTC no tratamento controle somente foi maior que a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total, tratamento

no qual o AMC não apresentou diferença. Na camada de 0–10 cm, pôde-se notar que os valores de V nos tratamentos que receberam aplicação de CLE nas doses de 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> são considerados altos (71–90%) (RAIJ *et al.*, 1997). Esses valores são maiores que os observados nos tratamentos controle (62%) e com AMC (53%).

Os teores de macronutrientes presentes na camada de solo 0–10 cm de profundidade após o cultivo de milho (Tabela 6) apresentaram efeito do modo de aplicação apenas para o teor de Ca. A interação os fatores só pôde ser vista nos teores de Ca, e todos os nutrientes apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial.

Houve ajuste linear positivo (Apêndice A) para todos os macronutrientes em ambos os modos de aplicação, exceto para o S. Segundo Raij *et al.* (1997), de acordo com os limites de interpretação de atributos químicos do solo, somente o P foi classificado como “baixo” (7–15 mg dm<sup>-3</sup>), enquanto o K e o S foram classificados como “médio” (1,6–3,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 5–10 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) e o Ca e o Mg como “alto” (>7 e >8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente) para o tratamento controle. Nos tratamentos com doses de CLE, somente o P apresentou mudança de classe para “alto” (41–80 mg dm<sup>-3</sup>).

O teor de P apresentou diferença dos tratamentos adicionais com a dose de 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, sendo inferiores comparados aos tratamentos adubados com CLE. Além disso, o tratamento controle foi menor que os demais, exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total e nas entrelinhas. O potássio foi menor no tratamento AMC com relação as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação. O Ca teve os tratamentos adicionais controle e AMC diferindo das doses 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, além do AMC diferindo dos demais exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total, sendo que os tratamentos adubados com CLE apresentaram teores superiores. Para o teor de Mg, o tratamento controle foi inferior a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação. Os teores de S não diferiram do tratamento controle com os demais, e apenas o AMC foi superior as doses 10 e 20 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação.

Tabela 6 – Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo com plantas de milho

Tratamento	P		K		Ca		Mg		S-SO <sub>4</sub>	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	mg dm <sup>-3</sup>				mmolc dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>	
	<i>0-10 cm</i>									
Controle										
Adução mineral convencional										
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	31,25 <sup>•▲</sup>	27,25 <sup>•▲</sup>	1,60 <sup>•▲</sup>	1,70 <sup>•▲</sup>	21,32B <sup>•▲</sup>	31,00A <sup>•</sup>	14,67 <sup>•</sup>	16,32 <sup>•</sup>	4,32 <sup>•</sup>	4,32 <sup>•</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	42,75 <sup>▲</sup>	33,25 <sup>•▲</sup>	2,42 <sup>•▲</sup>	2,07 <sup>•▲</sup>	30,00 <sup>•</sup>	30,32 <sup>•</sup>	17,00 <sup>•</sup>	16,32 <sup>•</sup>	4,67 <sup>•▲</sup>	4,67 <sup>•▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	47,75 <sup>▲</sup>	59,25	2,67 <sup>•</sup>	2,62 <sup>•</sup>	32,32 <sup>•</sup>	34,00	16,67 <sup>•</sup>	18,00 <sup>▲</sup>	3,67 <sup>•</sup>	4,32 <sup>•</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	66,37	58,75	3,12	2,67 <sup>•</sup>	38,00	35,67	18,0 <sup>▲</sup>	19,32 <sup>▲</sup>	4,67 <sup>•▲</sup>	5,00 <sup>•▲</sup>
Teste F										
Doses de CLE (D)	15,10 <sup>**</sup>		13,66 <sup>**</sup>		20,18 <sup>**</sup>		4,81 <sup>**</sup>		3,45 <sup>*</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	0,39 <sup>NS</sup>		1,62 <sup>NS</sup>		5,38 <sup>**</sup>		2,26 <sup>NS</sup>		1,47 <sup>NS</sup>	
D x MA	1,53 <sup>NS</sup>		0,75 <sup>NS</sup>		6,57 <sup>**</sup>		0,78 <sup>NS</sup>		0,60 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	32,11 <sup>**</sup>		9,65 <sup>**</sup>		77,29 <sup>**</sup>		76,22 <sup>**</sup>		21,41 <sup>**</sup>	
CV (%)	26,66		18,46		9,63		10,73		12,19	
	<i>10-20 cm</i>									
Controle										
Adução mineral convencional										
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	26,25A <sup>▲</sup>	15,25B <sup>•▲</sup>	1,00	1,12	16,50B <sup>•▲</sup>	23,25A <sup>•</sup>	9,50B	12,00A <sup>•</sup>	5,00A <sup>•</sup>	4,00B <sup>•</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	18,25 <sup>•▲</sup>	19,25 <sup>•▲</sup>	1,42	1,20	21,75 <sup>•▲</sup>	24,00 <sup>•</sup>	12,25 <sup>•</sup>	12,75 <sup>•</sup>	4,50 <sup>•</sup>	4,00 <sup>•</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	22,00 <sup>•▲</sup>	19,00 <sup>•▲</sup>	1,32	1,32	23,75 <sup>•</sup>	21,25 <sup>•▲</sup>	13,00 <sup>•</sup>	11,75 <sup>•</sup>	4,00 <sup>•</sup>	4,32 <sup>•</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	30,25 <sup>▲</sup>	29,75 <sup>▲</sup>	1,37	1,42	21,25B <sup>•▲</sup>	25,25A <sup>•</sup>	12,25 <sup>•</sup>	13,25 <sup>•</sup>	5,00 <sup>•</sup>	6,67 <sup>•</sup>
Teste F										
Doses (D)	6,21 <sup>**</sup>		1,95 <sup>NS</sup>		4,20 <sup>**</sup>		8,66 <sup>**</sup>		2,71 <sup>NS</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	2,74 <sup>NS</sup>		0,01 <sup>NS</sup>		12,36 <sup>**</sup>		4,95 <sup>*</sup>		4,17 <sup>NS</sup>	
D x MA	1,72 <sup>NS</sup>		0,51 <sup>NS</sup>		6,37 <sup>**</sup>		6,26 <sup>**</sup>		2,22 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	9,77 <sup>**</sup>		4,98 <sup>*</sup>		10,85 <sup>**</sup>		21,28 <sup>**</sup>		35,59 <sup>**</sup>	
CV (%)	27,36		24,33		9,78		7,42		11,09	

\*\* , \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲ , ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No estudo realizado por Moreira *et al.* (2013), foram observados incrementos nos teores de P, K, Ca, Mg e S em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico quando foi aplicado 180 t ha<sup>-1</sup> de LE. Segundo Curci *et al.* (2020), quanto maior a quantidade de CLE aplicada, maior é a melhoria dos atributos do solo relacionados à fertilidade, como observado neste estudo pelo aumento dos teores de nutrientes.

Na camada 10–20 cm de profundidade, notou-se efeito do modo de aplicação para os teores de Ca e Mg apenas, os quais também foram os únicos a apresentarem interação entre os fatores avaliados. Todos os macronutrientes nesta camada apresentaram interação entre os tratamentos adicionais e o fatorial.

Na profundidade de 10–20 cm de solo, foram encontrados ajustes quadráticos com o CLE foi aplicado em área total (Apêndice B), sendo notado efeito positivo para os teores de P e de S e, efeito negativo para os teores de Ca e Mg (maiores teores nas doses 19,60 e 20,07 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Nas entrelinhas, houve ajuste linear positivo para P. Houve mudança de classe apenas para o P e S, saindo de “baixo” (7–15 e 0–4 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) no tratamento controle para “médio” (16–40 e 5–10 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) nos tratamentos que receberam doses de CLE (Raij *et al.*, 1997).

O teor de P do tratamento controle foi menor somente comparado a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE em ambos os modos de aplicação, enquanto o AMC não diferiu de nenhum dos tratamentos. O teor de K não apresentou diferença dos tratamentos adicionais com os demais, e o teor de Ca diferiu somente do AMC quando comparado a dose de 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE em área total e as doses 10, 15 e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicadas nas entrelinhas, sendo os tratamentos adubados com CLE os que apresentaram maiores teores deste nutriente. Para o teor de Mg, o tratamento controle foi semelhante a todos, exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total, e o tratamento AMC foi inferior a todos eles. O teor de S apresentou diferença somente do tratamento AMC com os demais, obtendo valor superior.

É possível observar que, principalmente na primeira camada de solo, houveram maiores teores de macronutrientes no solo. Isso se deve, provavelmente, a mineralização do material vegetal recorrente do plantio de capim-marandu na safra verão 2019/2020. Sendo um material de elevada relação C/N e capaz de acumular grandes quantidades de nutrientes (BEZERRA, 2019), o próximo cultivo consegue se beneficiar dos nutrientes disponibilizados ao longo de seu ciclo.

Em relação aos micronutrientes no solo (Tabela 7), na camada 0–10 cm de profundidade, pode-se notar o efeito do modo de aplicação para os teores de B, Cu e Fe. A interação entre os fatores apenas foi notada para os teores de Cu. Todos os micronutrientes, exceto o B e o Mn, apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial.

Quando o CLE foi distribuído em área total, pôde-se notar ajuste linear positivo (Apêndice A) para o teor de Zn, enquanto os teores de Cu e Fe apresentaram ajuste quadrático positivo. Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram classificados como “alto” ( $>0,8$ ,  $>12$ ,  $>5,0$  e  $>1,2$ , respectivamente) e o B como “médio” ( $0,21$ – $0,60$  mg dm<sup>-3</sup>) (RAIJ *et al.*, 1997), demonstrando o potencial do CLE em fornecer micronutrientes para o solo e para as plantas sob efeito residual.

O teor de B do tratamento controle foi inferior aos tratamentos adubados com as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE distribuído nas entrelinhas, enquanto o tratamento AMC foi superior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total. Os teores de Cu de ambos os tratamentos adicionais foram inferiores a todas as doses aplicadas em área total e as duas últimas nas entrelinhas. O teor Fe teve menor valor no tratamento controle comparado as doses 10, 15 e 25 t ha<sup>-1</sup> aplicadas em área total, enquanto o tratamento AMC não diferiu de nenhum dos tratamentos.

O teor Mn não apresentou diferença dos tratamentos adicionais com os demais, enquanto o teor Zn no controle foi menor comparado a todos os demais tratamentos, com o tratamento AMC sendo menor somente da dose 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total.

Na camada 10–20 cm de profundidade, o efeito do modo de aplicação foi observado para B, Fe e Zn. A interação entre os fatores só foi observada para os teores de Fe, Mn e Zn, assim como na diferença entre os tratamentos adicionais e o fatorial. Houve ajuste quadrático positivo (Apêndice B) para Mn e Zn em área total. Os teores de Zn aumentaram linearmente no solo com o aumento das doses de CLE aplicado nas entrelinhas.

O teor de B foi classificado como “médio” ( $0,21$ – $0,60$  mg dm<sup>-3</sup>), enquanto os demais foram classificados como “alto” (Cu:  $> 0,8$ ; Fe:  $> 12$ , Mn:  $> 5$  e Zn:  $> 1,2$  mg dm<sup>-3</sup>) (Raij *et al.*, 1997).



Tabela 7 – Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de plantas de milho

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
mg dm <sup>-3</sup>										
0-10 cm										
Controle		0,19 <sup>•</sup>		1,93 <sup>•</sup>		23,00 <sup>•</sup>		24,93		1,00 <sup>•</sup>
Adubação mineral convencional		0,46 <sup>▲</sup>		1,96 <sup>•</sup>		26,00 <sup>▲</sup>		21,13		3,50 <sup>▲</sup>
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,25 <sup>•</sup>	0,35 <sup>•▲</sup>	2,46 <sup>▲</sup>	2,26 <sup>•</sup>	31,75A <sup>▲</sup>	24,75B <sup>•▲</sup>	23,60	23,36	3,33 <sup>▲</sup>	3,33 <sup>▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,31 <sup>•▲</sup>	0,32 <sup>•▲</sup>	2,50A <sup>▲</sup>	2,20B <sup>•</sup>	29,00 <sup>▲</sup>	26,75 <sup>•▲</sup>	23,43	21,73	4,96 <sup>▲</sup>	3,60 <sup>▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,30B <sup>•▲</sup>	0,48A <sup>▲</sup>	2,50B <sup>▲</sup>	2,80A <sup>▲</sup>	26,75 <sup>•▲</sup>	27,75 <sup>•▲</sup>	20,93	21,56	4,93 <sup>▲</sup>	5,93
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,32 <sup>•▲</sup>	0,37 <sup>▲</sup>	3,05A <sup>▲</sup>	2,70B <sup>▲</sup>	32,00A <sup>▲</sup>	26,75B <sup>•▲</sup>	23,10	21,86	6,30	5,16 <sup>▲</sup>
Teste F										
Doses (D)		1,76 <sup>NS</sup>		21,35 <sup>**</sup>		0,69 <sup>NS</sup>		1,49 <sup>NS</sup>		10,26 <sup>**</sup>
Modos de Aplicação (MA)		7,24 <sup>*</sup>		6,43 <sup>*</sup>		9,89 <sup>**</sup>		0,71 <sup>NS</sup>		1,19 <sup>NS</sup>
D x MA		1,43 <sup>NS</sup>		7,46 <sup>**</sup>		2,68 <sup>NS</sup>		0,48 <sup>NS</sup>		2,52 <sup>NS</sup>
T x [D x MA]		0,73 <sup>NS</sup>		101,38 <sup>**</sup>		9,44 <sup>**</sup>		0,48 <sup>NS</sup>		40,35 <sup>**</sup>
CV (%)		25,64		6,29		11,05		9,41		23,15
10-20 cm										
Controle		0,25 <sup>•</sup>		2,10 <sup>•</sup>		26,25 <sup>•</sup>		23,53 <sup>•</sup>		0,66 <sup>•</sup>
Adubação mineral convencional		0,36 <sup>▲</sup>		2,16 <sup>▲</sup>		28,75 <sup>▲</sup>		19,90 <sup>▲</sup>		2,00 <sup>▲</sup>
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,23 <sup>•▲</sup>	0,35 <sup>•▲</sup>	2,23 <sup>•▲</sup>	2,20 <sup>•▲</sup>	30,25A <sup>▲</sup>	26,00B <sup>•▲</sup>	23,03A <sup>•</sup>	20,10B <sup>▲</sup>	2,53A <sup>▲</sup>	1,13B <sup>•▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,35 <sup>•▲</sup>	0,35 <sup>•▲</sup>	2,23 <sup>•▲</sup>	2,23 <sup>•▲</sup>	28,75 <sup>•▲</sup>	31,00 <sup>▲</sup>	20,43B <sup>▲</sup>	23,86A <sup>•</sup>	1,50 <sup>•▲</sup>	1,63 <sup>•▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,32B <sup>•▲</sup>	0,48A <sup>▲</sup>	2,23 <sup>•▲</sup>	2,13 <sup>•▲</sup>	28,25A <sup>•▲</sup>	24,25B <sup>•▲</sup>	20,03 <sup>▲</sup>	19,40 <sup>▲</sup>	2,03 <sup>▲</sup>	1,96 <sup>▲</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,34 <sup>•▲</sup>	0,33 <sup>•▲</sup>	2,40 <sup>▲</sup>	2,23 <sup>•▲</sup>	30,00 <sup>•▲</sup>	28,75 <sup>•▲</sup>	22,80 <sup>•▲</sup>	21,43 <sup>•▲</sup>	2,63 <sup>▲</sup>	2,00 <sup>▲</sup>
Teste F										
Doses (D)		2,51 <sup>NS</sup>		1,24 <sup>NS</sup>		3,56 <sup>*</sup>		4,46 <sup>*</sup>		2,73 <sup>NS</sup>
Modos de Aplicação (MA)		4,92 <sup>*</sup>		2,16 <sup>NS</sup>		4,48 <sup>*</sup>		0,48 <sup>NS</sup>		6,67 <sup>*</sup>
D x MA		2,07 <sup>NS</sup>		0,53 <sup>NS</sup>		3,13 <sup>*</sup>		6,26 <sup>**</sup>		3,26 <sup>*</sup>
TA x [D x MA]		1,41 <sup>NS</sup>		3,27 <sup>NS</sup>		0,90 <sup>NS</sup>		0,29 <sup>NS</sup>		7,83 <sup>**</sup>
CV (%)		23,64		6,51		8,58		7,15		29,73

\*\* , \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲ , • – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O teor de B no solo, no tratamento controle, foi inferior a dose 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado nas entrelinhas, enquanto o tratamento com AMC, não diferiu dos demais tratamentos. Já o teor de Cu apresentou menor valor no tratamento controle comparado a dose 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total. O teor de Fe, no tratamento controle, foi inferior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE distribuído em área total e 15 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado nas entrelinhas, e o tratamento AMC não apresentou diferença dos demais. O teor de Mn, no tratamento controle, foi maior que as doses 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE em área total e 10 e 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, e o tratamento AMC foi inferior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total e 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. Por último, o teor de Zn apresentou diferença do tratamento controle com os demais, exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 15 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, no qual apresentou valor bem abaixo comparado aos tratamentos adubados com CLE.

Podemos observar que há elevados teores de B e Zn no solo, os quais superam os valores dos tratamentos AMC que receberam uma suplementação mineral. Isso ocorre pela liberação gradual dos nutrientes complexados no CLE, disponibilizando os nutrientes gradativamente a medida que a matéria orgânica é mineralizada no solo (SOUSA, 2019).

O acúmulo de macronutrientes no capim-marandu (Tabela 8) não apresentou efeito do modo de aplicação ou da interação entre os fatores. Os tratamentos adicionais e o fatorial apresentaram diferença entre si para o N, K, Ca, Mg e S. Em todos os nutrientes acumulados nos tratamentos adubados em área total, foi observado um ajuste linear positivo (Apêndice B), exceto para o S. Já quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas da cultura, não houve ajuste a nenhum modelo de regressão em relação às quantidades de macronutrientes acumulados no capim-marandu.

Em relação ao acúmulo de N, as duas maiores doses de CLE aplicadas em área total foram as que acumularam maior quantidade do nutriente na planta quando somadas as quantidades extraídas de cada corte da forrageira. Não houve diferença entre os modos de aplicação, e o tratamento controle foi menor apenas das maiores doses em área total. Já o tratamento AMC foi superior a todos os tratamentos, exceto da dose 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE em área total, a qual não mostrou diferença. Isso indica que, para se obter uma alta eficiência do uso da forrageira, uma adubação nitrogenada satisfatória deve ser adotada (FERNANDES *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2009).

Tabela 8 – Efeito dos tratamentos no acúmulo total de macronutrientes após dois cortes de capim-marandu aos 100 e 200 DAE

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		S	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	<i>kg ha<sup>-1</sup></i>											
Controle (C)	50,4*		12,3*		79,2*		29,3*		17,3*		5,5*	
Adubação Mineral Convencional	113,9 <sup>▲</sup>		27,5 <sup>▲</sup>		215,4 <sup>▲</sup>		65,0 <sup>▲</sup>		48,3 <sup>▲</sup>		13,1 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	61,1*	75,2*	15,6*	16,6*	104,7*	127,8	31,0*	39,3*	21,0B*	29,8A	6,0*	7,8*
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	56,1*	58,8*	16,2*	16,0*	103,5*	109,4*	33,8*	35,8*	20,3*	23,5*	7,4*	7,7*
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	79,8	68,8*	21,3 <sup>▲</sup>	17,2*	123,5*	119,9*	40,1*	35,2*	28,4*	23,9*	8,7*	6,6*
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	87,9 <sup>▲</sup>	76,1*	21,8 <sup>▲</sup>	19,5	159,9A	124,5B*	51,2 <sup>▲</sup>	42,7*	30,1	27,9*	8,0*	7,7*
Teste F												
Doses (D)	5,78**		4,86**		4,42*		5,36**		2,47 <sup>NS</sup>		0,36 <sup>NS</sup>	
Modo de Aplicação (MA)	0,12 <sup>NS</sup>		1,81 <sup>NS</sup>		0,12 <sup>NS</sup>		0,10 <sup>NS</sup>		0,50 <sup>NS</sup>		0,01 <sup>NS</sup>	
D x MA	2,05 <sup>NS</sup>		1,19 <sup>NS</sup>		2,93 <sup>NS</sup>		2,30 <sup>NS</sup>		2,56 <sup>NS</sup>		1,47 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	5,82*		2,56 <sup>NS</sup>		10,23**		9,62**		11,85**		5,68*	
CV (%)	16,79		15,97		16,02		17,22		19,48		24,14	

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>▲</sup> , ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O acúmulo de P teve no tratamento controle valor menor comparado as duas maiores doses em área total e a maior dose nas entrelinhas, e as parcelas adubadas com fertilizante mineral foi superior a todos os tratamentos exceto nas doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE em área total.

Para o acúmulo de K, houve diferença do modo de aplicação somente na dose de 25 t ha<sup>-1</sup>, sendo em área total o método superior.

Nas duas maiores doses de CLE (20 e 25 t ha<sup>-1</sup>), pôde-se notar maior acúmulo de Ca no capim-marandu. O tratamento controle não diferiu dos tratamentos, exceto quando foi inferior a dose 25 t ha<sup>-1</sup> aplicada em área total, único tratamento o qual o tratamento AMC não diferiu.

O acúmulo de Mg teve somente na dose de 10 t ha<sup>-1</sup> uma diferença do modo de aplicação do CLE, sendo nas entrelinhas o método que mais acumulou o nutriente. O tratamento controle foi inferior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> aplicada nas entrelinhas, enquanto o AMC foi superior a todos os tratamentos.

O acúmulo de S no tratamento controle foi semelhante a todos os tratamentos, enquanto o tratamento AMC apresentou comportamento distinto, sendo superior a todos eles.

No estudo de Pietramale *et al.* (2020) com capim-marandu submetido a diferentes omissões de adubações, foi possível notar que o tratamento com adubação completa, nos cortes aos 63 e 147 DAE, proporcionou os teores de N 13,98 e 29,19 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, demonstrando que o efeito residual CLE observado neste estudo consegue suprir as necessidades da forrageira de forma semelhante a condições favoráveis de produção. O mesmo ocorreu para K e S, os quais apresentaram os valores de 50,43 e 5,61 g kg<sup>-1</sup> quando somados ambos os cortes. Dessa forma, pode-se notar o efeito importante da ciclagem de nutrientes desta gramínea, para N (BORGES *et al.*, 2014) mas também P e K (PACHECO *et al.*, 2011).

Em relação aos micronutrientes acumulados no capim-marandu ao final de dois cortes (Tabela 9), pôde-se observar que não houve efeito do modo de aplicação ou da interação dos fatores para nenhum dos micronutrientes extraídos pela forrageira. Houve diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial apenas para o B, Mn e Zn. Houve ajuste linear positivo (Apêndice B) para os nutrientes B e Zn quando o CLE foi aplicado em área total.

Tabela 9 – Efeito dos tratamentos no acúmulo total de micronutrientes após dois cortes de capim-marandu aos 100 e 200 DAE

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	<i>g ha<sup>-1</sup></i>									
Controle	48,7 <sup>•</sup>		24,1 <sup>•</sup>		1456,6 <sup>•</sup>		598,9 <sup>•</sup>		141,3 <sup>•</sup>	
Adubação mineral convencional	84,3 <sup>▲</sup>		54,3 <sup>▲</sup>		2084,2 <sup>▲</sup>		1563,2 <sup>▲</sup>		397,4 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	31,5b <sup>•</sup>	44,3 <sup>•</sup>	32,8 <sup>•▲</sup>	38,0 <sup>•▲</sup>	1208,7 <sup>•</sup>	1374,9 <sup>•▲</sup>	665,9 <sup>•</sup>	801,5 <sup>•</sup>	171,1 <sup>•</sup>	212,3 <sup>•</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	38,2b <sup>•</sup>	50,4 <sup>•</sup>	34,6 <sup>•▲</sup>	35,9 <sup>•▲</sup>	1320,5 <sup>•▲</sup>	1535,1 <sup>•▲</sup>	656,9 <sup>•</sup>	756,0 <sup>•</sup>	188,5 <sup>•</sup>	208,4 <sup>•</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	44,6ab <sup>•</sup>	53,0 <sup>•▲</sup>	37,7 <sup>•▲</sup>	51,4 <sup>▲</sup>	1454,7 <sup>•▲</sup>	1572,0 <sup>•▲</sup>	754,8 <sup>•</sup>	681,5 <sup>•</sup>	242,9	236,0
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	61,2a <sup>•▲</sup>	53,9 <sup>•▲</sup>	44,7 <sup>•▲</sup>	40,9 <sup>•▲</sup>	1669,2 <sup>•▲</sup>	1610,8 <sup>•▲</sup>	799,1 <sup>•</sup>	703,4 <sup>•</sup>	267,6	238,1
Teste F										
Doses (D)	3,94 <sup>*</sup>		1,03 <sup>NS</sup>		1,19 <sup>NS</sup>		0,19 <sup>NS</sup>		5,86 <sup>**</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	2,46 <sup>NS</sup>		0,72 <sup>NS</sup>		0,67 <sup>NS</sup>		0,13 <sup>NS</sup>		0,25 <sup>NS</sup>	
D x MA	1,28 <sup>NS</sup>		0,59 <sup>NS</sup>		0,20 <sup>NS</sup>		1,71 <sup>NS</sup>		1,54 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	17,36 <sup>**</sup>		0,00 <sup>NS</sup>		4,06 <sup>NS</sup>		49,39 <sup>**</sup>		12,29 <sup>**</sup>	
CV (%)	23,06		34,42		24,81		15,95		15,27	

\*\* , \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲ , • – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O acúmulo de B teve o tratamento controle semelhante a todos os tratamentos. Já as parcelas adubadas com fertilizante mineral foram superiores as doses de 10 e 15 t ha<sup>-1</sup> de CLE em ambos os modos de aplicação, e da dose de 20 t ha<sup>-1</sup> em área total. Este micronutriente é muito importante pois atua nos meristemas apicais da planta, contribuindo para melhorar o desempenho de produção de biomassa (ANDRADE *et al.*, 2019).

Para o acúmulo de Cu, o tratamento controle foi inferior a dose 20 t ha<sup>-1</sup> aplicada nas entrelinhas da cultura. Já o tratamento AMC foi semelhante a todos os tratamentos estudados. Já para o Fe, o tratamento controle não diferiu de nenhum dos demais tratamentos, e as parcelas adubadas com fertilizante mineral foram superiores apenas ao tratamento 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicada em área total. O acúmulo de Mn teve no tratamento controle valor semelhante aos demais tratamentos, e o tratamento com AMC foi superior a totalidade de tratamentos do experimento.

Não houve efeito do modo de aplicação do CLE nas quantidades de Zn acumuladas, sendo que o tratamento controle foi inferior as duas maiores doses de CLE em ambos os modos de aplicação. Já o tratamento AMC diferiu de todos os demais tratamentos, apresentando um acúmulo de Zn superior.

Figura 7 – Visão geral dos blocos cultivados com capim-marandu (a) e palhada remascente do primeiro corte (100 DAE) sob o solo (b).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A produção de biomassa do capim-marandu (Figura 7), avaliada em kg ha<sup>-1</sup> de massa seca (Tabela 10), apresentou diferença entre os tratamentos adicionais e o fatorial. Não houve efeito dos modos de aplicação ou da interação entre os fatores. Foi possível observar um ajuste linear positivo na análise de regressão (Apêndice B).

Não houve diferença entre os modos de aplicação, e tratamento controle foi inferior apenas a dose 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicada em área total. As parcelas adubadas com fertilizante mineral foram superiores a todos os tratamentos, apresentando uma produção com pelo menos 4,4 t ha<sup>-1</sup> a mais de biomassa. Esta quantidade expressiva de massa seca produzida reflete diretamente na quantidade de palhada que se mantém sob o solo, trazendo diversos benefícios como a intensa ciclagem de nutrientes, manutenção da umidade do solo, supressão de plantas daninhas, entre outras vantagens.

Tabela 10 – Efeito dos tratamentos na produtividade de fitomassa seca total (kg ha<sup>-1</sup>) de dois cortes (100 e 200 dias após a emergência das plantas) de capim-marandu

Tratamento	Produção de Fitomassa	
	AT	EL
	kg ha <sup>-1</sup>	
Controle		6440●
Adubação mineral convencional		15010▲
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	7220●	8292●
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	7648●	8245●
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	9392●	8608●
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	10615	9305●
Teste F		
Doses (D)		4,46*
Modos de Aplicação (MA)		0,05 <sup>NS</sup>
D x MA		1,35 <sup>NS</sup>
TA x [D x MA]		14,49**
CV (%)		15,07

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲, ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No estudo realizado por Lopes *et al.* (2018), a produção de massa seca total de capim-marandu submetida a diferentes doses de K (cortes aos 90 e 135 DAE) foi

de 5.851 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento controle, assemelhando-se ao valor encontrado neste estudo. Também, foram observados incrementos de produção com o aumento das doses, chegando a aproximadamente 12.000 kg ha<sup>-1</sup> quando aplicado 100 kg ha<sup>-1</sup> de K, evidenciando o potencial de resposta da forrageira à aplicação de fertilizantes. Na dose de 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE em área total, pudemos obter um total de 10.615 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa, apesar da última aplicação de fertilizante tenha sido em 2018, mostrando o efeito residual de um período de quase dois anos e meio.

Um importante maximizador do rendimento da matéria seca de forrageiras é o nitrogênio, pois é o principal nutriente para manter a produtividade em razão da sua função como componente importante das proteínas (DUPAS *et al.*, 2016). Vários fatores podem ter afetado a disponibilidade desse nutriente, como a exportação pelas culturas cultivadas posteriormente a aplicação do CLE e o seu período residual, uma vez que a mineralização do N-orgânico se transforma em nitrato, que pode ser facilmente lixiviado (GONÇALVEZ, 2005).

Após o cultivo do capim-marandu, foram coletadas amostras de solo para avaliação dos atributos químicos e teores de nutrientes remanescentes. Na camada 0–10 cm (Tabela 11) de profundidade, somente o V apresentou efeito do modo de aplicação (médias de AT: 64,8; EL: 67,8 %). Não houve interação entre os fatores para nenhum dos atributos nesta camada, e somente a MO e o AI não apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial. Houve ajuste linear positivo (Apêndice C) para MO, SB e V em área total, e para pH e V nas entrelinhas. Também houve ajuste quadrático negativo para MO em área total e SB e CTC nas entrelinhas, sendo os maiores teores nas doses 17,46, 20,87 e 20,89 t ha<sup>-1</sup> de CLE, respectivamente.

Para a SB, houve diferença do modo de aplicação na dose 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE, sendo nas entrelinhas da cultura o melhor método. Ambos os tratamentos adicionais apresentaram diferença com a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, sendo inferiores, e apenas o tratamento AMC diferiu das doses 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, apresentando um valor menor comparado a estes tratamentos.

O tratamento AMC para o atributo V teve valor inferior as doses 15 e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, e a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, enquanto o tratamento controle foi semelhante a todos eles.

Para avaliação da CTC, pode-se observar que os tratamentos adicionais foram inferiores a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas.



Tabela 11 – Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu

Tratamento	MO		pH		H + Al		Al		SB		V		CTC	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	g dm <sup>-3</sup>		CaCl <sub>2</sub>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
	0-10 cm													
Controle	21,2		5,3 <sup>*▲</sup>		24,0 <sup>*</sup>		0,0		42,1 <sup>*</sup>		63,8 <sup>*</sup>		66,1 <sup>*</sup>	
Adubação mineral convencional	20,8		5,1 <sup>*</sup>		30,0 <sup>▲</sup>		0,75		36,1 <sup>▲</sup>		56,8 <sup>▲</sup>		66,1 <sup>*</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	21,0	20,2	5,3 <sup>*</sup>	5,4 <sup>▲*</sup>	26,0 <sup>▲*</sup>	23,8 <sup>*</sup>	0,0B	0,75A	37,9 <sup>*▲</sup>	40,0 <sup>*▲</sup>	59,2 <sup>*▲</sup>	63,0 <sup>*▲</sup>	63,9 <sup>*</sup>	63,7 <sup>*</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	22,0	22,0	5,3 <sup>*</sup>	5,5 <sup>▲</sup>	23,2 <sup>*</sup>	21,8 <sup>*</sup>	0,25	0,0	45,3 <sup>*</sup>	46,4 <sup>*</sup>	66,0 <sup>*</sup>	68,2 <sup>*</sup>	68,8 <sup>*</sup>	68,1 <sup>*</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	22,8	21,8	5,5 <sup>▲</sup>	5,5 <sup>▲</sup>	25,0 <sup>*▲</sup>	22,2 <sup>*</sup>	0,0	0,0	46,6B <sup>*</sup>	52,7A	65,0 <sup>*▲</sup>	70,2 <sup>*</sup>	71,6 <sup>*</sup>	75,0 <sup>▲</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	21,0	22,0	5,6 <sup>▲</sup>	5,6 <sup>▲</sup>	21,2 <sup>*</sup>	21,8 <sup>*</sup>	0,0	0,0	48,3 <sup>*</sup>	49,2 <sup>*</sup>	69,0 <sup>*</sup>	69,8 <sup>*</sup>	70,0 <sup>*</sup>	70,9 <sup>*</sup>
Teste F														
Doses (D)	2,44 <sup>NS</sup>		3,86 <sup>*</sup>		1,84 <sup>NS</sup>		1,17 <sup>NS</sup>		15,23 <sup>**</sup>		6,08 <sup>**</sup>		11,88 <sup>**</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	0,17 <sup>NS</sup>		2,73 <sup>NS</sup>		2,61 <sup>NS</sup>		0,58 <sup>NS</sup>		4,16 <sup>NS</sup>		4,25 <sup>*</sup>		0,55 <sup>NS</sup>	
D x MA	0,96 <sup>NS</sup>		0,40 <sup>NS</sup>		0,35 <sup>NS</sup>		1,75 <sup>NS</sup>		0,96 <sup>NS</sup>		0,44 <sup>NS</sup>		0,61 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	1,34 <sup>NS</sup>		15,93 <sup>**</sup>		11,48 <sup>**</sup>		1,87 <sup>NS</sup>		23,34 <sup>**</sup>		13,87 <sup>**</sup>		4,91 <sup>*</sup>	
CV (%)	6,04		2,96		11,89		264,27		7,89		6,33		4,80	
	10-20 cm													
Controle	18,2		5,1 <sup>*</sup>		28,0 <sup>*</sup>		1,2 <sup>*</sup>		29,8 <sup>*</sup>		51,8 <sup>*</sup>		57,8	
Adubação mineral convencional	17,0		4,7 <sup>▲</sup>		33,0 <sup>▲</sup>		2,8 <sup>▲</sup>		25,2 <sup>▲</sup>		43,0 <sup>▲</sup>		58,2	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	18,0	18,8	5,0 <sup>*</sup>	5,2 <sup>*</sup>	29,0 <sup>*▲</sup>	26,0 <sup>*</sup>	1,2 <sup>*▲</sup>	1,0 <sup>*</sup>	29,1 <sup>*▲</sup>	27,2 <sup>*▲</sup>	50,0 <sup>*</sup>	49,0 <sup>*▲</sup>	58,1A	55,2B
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	17,8	18,2	5,2 <sup>*</sup>	5,1 <sup>*</sup>	28,0 <sup>*</sup>	28,0 <sup>*</sup>	0,8 <sup>*</sup>	1,2 <sup>*▲</sup>	30,2 <sup>*▲</sup>	30,7 <sup>*▲</sup>	52,2 <sup>*</sup>	52,2 <sup>*</sup>	58,2	58,7
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	18,0	18,0	5,1 <sup>*</sup>	5,3 <sup>*</sup>	29,0 <sup>*▲</sup>	29,0 <sup>*</sup>	0,8 <sup>*</sup>	0,0 <sup>*</sup>	30,0B <sup>*▲</sup>	34,6A <sup>*</sup>	50,8B <sup>*</sup>	57,0A <sup>*</sup>	59,0	60,6
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	17,2	18,0	5,3 <sup>*</sup>	5,1 <sup>*</sup>	25,0 <sup>*</sup>	25,0 <sup>*</sup>	0,2 <sup>*</sup>	0,8 <sup>*</sup>	31,8 <sup>*</sup>	30,7 <sup>*▲</sup>	55,8 <sup>*</sup>	54,0 <sup>*</sup>	56,8	56,7
Teste F														
Doses (D)	0,80 <sup>NS</sup>		0,81 <sup>NS</sup>		1,76 <sup>NS</sup>		1,57 <sup>NS</sup>		5,95 <sup>**</sup>		4,81 <sup>**</sup>		5,13 <sup>**</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	2,14 <sup>NS</sup>		0,24 <sup>NS</sup>		2,24 <sup>NS</sup>		----		0,52 <sup>NS</sup>		0,67 <sup>NS</sup>		0,12 <sup>NS</sup>	
D x MA	0,27 <sup>NS</sup>		2,66 <sup>NS</sup>		1,52 <sup>NS</sup>		1,09 <sup>NS</sup>		4,03 <sup>*</sup>		2,92 <sup>NS</sup>		2,07 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	0,96 <sup>NS</sup>		22,01 <sup>**</sup>		13,07 <sup>**</sup>		14,52 <sup>**</sup>		14,08 <sup>**</sup>		19,26 <sup>**</sup>		0,02 <sup>NS</sup>	
CV (%)	5,40		2,83		8,50		83,00		6,82		5,87		3,23	

\*\* , \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲, ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais. MO = Matéria orgânica. pH = Potencial hidrogeniônico. H + Al = Acidez potencial. Al = Alumínio. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases. CTC = Capacidade de troca catiônica.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Já na camada de 10–20 cm, o pH apresentou diferença somente do tratamento AMC com as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, e a dose 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, apresentado valor inferior aos adubados com CLE. O H+Al, assim como o pH, apresentou diferença somente do tratamento AMC com todos os tratamentos, exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total, apresentando neste caso valor superior. O Al e a MO não apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com os outros tratamentos.

A diferença do modo de aplicação para SB foi observada somente na dose 20 t ha<sup>-1</sup>. Somente o tratamento AMC diferiu da dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em área total, sendo observado valor inferior, e o tratamento controle teve menor quantidade de SB comparado a dose de 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas.

Para o V, foi observada diferença do modo de aplicação na dose 20 t ha<sup>-1</sup>, sendo nas entrelinhas o melhor método. O tratamento AMC foi inferior a todos os tratamentos, exceto a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação e a dose de 20 t ha<sup>-1</sup> em área total.

As doses de CLE nas entrelinhas influenciaram os valores de CTC, sendo notado maiores valores quando foram aplicadas as doses de 15 e 20 t ha<sup>-1</sup>. Houve diferença do modo de aplicação na dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE sendo em área total o melhor método.

O pH teve o tratamento AMC menor que os demais, assim como o H+Al foi superior para a maioria dos tratamentos, exceto as doses 10 e 20 t ha<sup>-1</sup> em área total. Para o teor de Al, o tratamento AMC foi maior comparado as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação, a dose 10 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 15 t ha<sup>-1</sup> em área total. A MO e a CTC não apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com os demais.

De modo geral, as pesquisas com CLE buscam resultados para o crescimento das plantas e contaminação do solo pelas quantidades de metais pesados presentes no fertilizante (MOREIRA *et al.*, 2020). Dessa forma, o efeito das aplicações nos atributos químicos do solo ainda não foi totalmente esclarecido, especialmente em solos tropicais, sendo necessários mais pesquisas a fim de avaliar as alterações que o uso do CLE proporciona ao solo, como também a melhor dose, época e forma de aplicação (GUERRINI *et al.*, 2017; PASQUALONE *et al.*, 2017).

Em relação aos teores de macronutrientes no solo na camada 0–10 cm de profundidade (Tabela 12), foi possível observar efeito do modo de aplicação somente para P e Ca. A interação entre os fatores ocorreu somente para o S, e houve diferença dos tratamentos adicionais para o fatorial apenas para Ca, Mg e S.

Houve ajuste linear positivo (Apêndice C) para P, Ca e Mg em área total e Mg nas entrelinhas. Já nas entrelinhas, pode-se notar um ajuste quadrático negativo para P, Ca e S, com os maiores teores observados nas doses 20,88, 20 e 20,08 t ha<sup>-1</sup> de CLE, respectivamente. De acordo com os limites de interpretação de Raij *et al.* (1997), o P e o K mantiveram classes “médio”, enquanto o S apresentou a classe “baixo” e o Ca e Mg a classe “alto”.

Houve diferença do modo de aplicação para P nas doses 15 e 25 t ha<sup>-1</sup>, sendo em área total o melhor método. O tratamento controle foi semelhante somente a dose de 10 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação e a dose de 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, sendo inferior a todos os demais. Já o tratamento AMC não apresentou diferença somente para as doses 15 e 25 t ha<sup>-1</sup> em área total, sendo superior aos demais tratamentos.

Houve diferença do modo de aplicação para Ca na dose 20 t ha<sup>-1</sup>, sendo nas entrelinhas o melhor método. Os tratamentos adicionais foram inferiores a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, sendo o tratamento controle semelhante aos demais e o tratamento AMC inferior a todos, exceto quando foi aplicada a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação.

Para o Mg, ambos os tratamentos adicionais apresentaram valores menores comparados as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. O tratamento controle foi semelhante aos demais e o tratamento AMC também foi inferior a dose 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em área total.

O método de aplicação em área total foi superior às entrelinhas na dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE para os teores de S. Somente o tratamento com AMC foi inferior as doses 10, 15 e 25 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado em área total e 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado nas entrelinhas, sendo que o tratamento controle foi semelhante a todos os outros. O teor de K não apresentou quaisquer diferenças entre os tratamentos.

Tabela 12 – Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes do solo nas camadas 0–10 e 10–20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu

Tratamento	P		K		Ca		Mg		S-SO <sub>4</sub>	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	mg dm <sup>-3</sup>				mmolc dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>	
	0-10 cm									
Controle		9,75*		1,7		24,8*		15,2*		2,2*
Adubação mineral convencional		42,00 <sup>▲</sup>		2,1		20,0 <sup>▲</sup>		14,0 <sup>▲</sup>		2,0 <sup>▲</sup>
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	15,00*	13,00*	1,9	1,7	21,0* <sup>▲</sup>	23,2* <sup>▲</sup>	15,0* <sup>▲</sup>	15,0* <sup>▲</sup>	3,0A*	2,0B* <sup>▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	30,00A <sup>▲</sup>	21,25B*	2,1	1,8	25,8*	26,2*	17,8* <sup>▲</sup>	18,2*	3,0*	3,0*
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	25,00	28,00	1,9	2,3	26,0B*	30,0A	18,8*	20,2	2,8* <sup>▲</sup>	3,0*
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	36,75A <sup>▲</sup>	24,25B	2,0	1,9	27,8*	27,0*	18,8*	20,2	3,0*	2,8* <sup>▲</sup>
Teste F										
Doses (D)		12,22**		0,87 <sup>NS</sup>		17,27**		9,72**		2,55 <sup>NS</sup>
Modos de Aplicação (MA)		6,22*		0,11 <sup>NS</sup>		5,59*		1,65 <sup>NS</sup>		3,40 <sup>NS</sup>
D x MA		2,90 <sup>NS</sup>		1,12 <sup>NS</sup>		2,67 <sup>NS</sup>		0,30 <sup>NS</sup>		3,96*
TA x [D x MA]		0,57 <sup>NS</sup>		0,07 <sup>NS</sup>		24,37**		19,69**		20,55**
CV (%)		23,44		21,71		7,13		11,11		14,34
	10-20 cm									
Controle		4,75*		1,1		17,2*		11,2*		1,8*
Adubação mineral convencional		15,25 <sup>▲</sup>		1,2		15,0 <sup>▲</sup>		9,0 <sup>▲</sup>		2,2 <sup>▲</sup>
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	7,75* <sup>▲</sup>	12,75* <sup>▲</sup>	1,1	1,2	17,2* <sup>▲</sup>	16,0* <sup>▲</sup>	10,8* <sup>▲</sup>	10,0* <sup>▲</sup>	2,8* <sup>▲</sup>	2,2* <sup>▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	12,25* <sup>▲</sup>	8,00* <sup>▲</sup>	1,2	1,0	17,8* <sup>▲</sup>	18,0* <sup>▲</sup>	11,2* <sup>▲</sup>	15,8*	2,2* <sup>▲</sup>	2,8 <sup>▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	13,75 <sup>▲</sup>	12,00* <sup>▲</sup>	1,0	1,2	17,2B* <sup>▲</sup>	20,8A*	11,8*	12,8*	2,0* <sup>▲</sup>	2,0* <sup>▲</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	13,25* <sup>▲</sup>	9,00* <sup>▲</sup>	1,2	1,0	18,2* <sup>▲</sup>	18,0* <sup>▲</sup>	12,2*	11,8*	3,0 <sup>▲</sup>	3,0 <sup>▲</sup>
Teste F										
Doses (D)		1,03 <sup>NS</sup>		0,12 <sup>NS</sup>		4,86**		6,82**		6,32**
Modos de Aplicação (MA)		1,11 <sup>NS</sup>		0,01 <sup>NS</sup>		1,60 <sup>NS</sup>		0,04 <sup>NS</sup>		----
D x MA		3,07*		2,99*		5,33**		1,68 <sup>NS</sup>		1,58 <sup>NS</sup>
TA x [D x MA]		0,61 <sup>NS</sup>		0,58 <sup>NS</sup>		12,81**		15,60**		7,58*
CV (%)		32,45		15,74		7,17		8,01		19,14

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲, ● – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na camada 10–20 cm de profundidade, não houve efeito do modo de aplicação para nenhum dos nutrientes estudados, e apenas o Mg e o S não apresentaram interação entre os fatores. Já na diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial, apenas os teores de P e K não foi significativa.

Houve ajuste linear positivo (Apêndice C) para P e Mg em área total, além de ajuste quadrático positivo para S. Nas entrelinhas, somente o Ca e o Mg se ajustaram ao modelo quadrático negativo, sendo os maiores teores nas doses 19,15 e 19,43 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Diferente da camada 0–10 cm para estes parâmetros, os teores de P, K e S foram classificados como “baixo”, enquanto Ca e Mg são da classe “alto”, segundo Raij *et al.* (1997). Solos deficientes em macronutrientes como K podem afetar a velocidade de crescimento, resultando em colmos raquíuticos (COSTA *et al.*, 2019).

O P apresentou diferença entre o tratamento controle e a dose 20 t ha<sup>-1</sup> aplicada em área total, sendo inferior. Para Ca, houve diferença do modo de aplicação na dose 20 t ha<sup>-1</sup>, sendo nas entrelinhas o melhor método. Somente o tratamento AMC apresentou diferença com a dose 20 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, sendo observado um valor menor comparado ao tratamento adubado com CLE.

Para os teores de Mg, não houve diferença dos modos de aplicação, e somente o tratamento AMC apresentou valor menor comparado aos tratamentos adubados nas doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em área total, e 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas.

Não houve diferença do modo de aplicação para S. Somente o tratamento controle foi menor que a dose 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas e 25 t ha<sup>-1</sup> em ambos os modos de aplicação. Para o K, não houveram quaisquer diferenças entre os tratamentos. Na falta de S, há diminuição do crescimento, do tamanho de colmos e caules e amarelecimento das folhas (COSTA *et al.*, 2019).

De modo geral, houve grande redução dos teores de macronutrientes no solo comparado a análise feita após o cultivo do milho, em ambas as profundidades. Isso demonstra o potencial de extração de nutrientes do solo pela forrageira, sendo observada também na camada inferior de 10–20 cm. Por ser uma espécie com uma abundante produção de raízes, podemos observar o potencial desta forrageira como cicladora de nutrientes do solo, através da absorção de nutrientes das camadas subsuperficiais e liberação na camada superficial por meio de sua decomposição (PARIZ *et al.*, 2011; SOUSA, 2019)

Na camada 0–10 cm de solo, os teores de micronutrientes (Tabela 13) apresentaram efeito do modo de aplicação para o Cu e o Fe. Não foi observada interação entre os fatores para os micronutrientes nesta camada, e apenas para o Cu e o Mn foi possível observar diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial.

Não houve ajuste linear ou quadrático para nenhum dos nutrientes (Apêndice C). Segundo Raij *et al.* (1997), o B foi classificado como “baixo” (0–0,20 mg dm<sup>-3</sup>) para a maioria dos tratamentos, enquanto os demais foram classificados como “alto”.

O teor de B no tratamento controle foi menor que o tratamento adubado com a dose 25 t ha<sup>-1</sup> em área total. Já o AMC foi superior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> em área total. O Cu teve o método área total diferente das entrelinhas na dose 15 t ha<sup>-1</sup>, e ambos os tratamentos adicionais foram inferiores aos demais em todas as doses aplicadas em área total, e as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. O Fe apresentou diferença do modo de aplicação para a dose 10 t ha<sup>-1</sup>, sendo em área total o melhor método, e somente o tratamento controle foi inferior a dose 15 t ha<sup>-1</sup> em área total.

Houve efeito do modo de aplicação para Mn. Ambos os tratamentos adicionais foram superiores as doses 10, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, além do tratamento AMC diferir também apresentar teor maior que na dose 15 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. Para o Zn, o tratamento controle foi inferior as doses 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> em área total e 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, enquanto o tratamento AMC foi semelhantes a todos os demais.

Teores baixos de B no solo podem refletir em sintomas de inibição do desenvolvimento da parte aérea e raízes e na formação do tubo polínico (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Na camada 10–20 cm de profundidade, não houve efeito do modo de aplicação para nenhum dos micronutrientes. A interação entre os fatores só pôde ser observada para o Fe e Zn, e apenas o Fe e o Mn apresentaram diferença dos tratamentos adicionais com o fatorial.

Na análise de regressão, só foi possível notar um ajuste quadrático negativo para Mn (Anexo 5), com maior teor na dose 16,29 t ha<sup>-1</sup>. Assim como na camada 0–10 cm de profundidade, o teor de B foi classificado como “baixo” e os demais micronutrientes como “alto”, conforme parâmetros estabelecidos por Raij *et al.* (1997) para os limites de interpretação de atributos químicos do solo.

Tabela 13 – Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade após o cultivo de capim-marandu

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
mg dm <sup>-3</sup>										
0-10 cm										
Controle	0,10 <sup>•</sup>		1,77 <sup>•</sup>		27,00 <sup>•</sup>		13,27 <sup>•</sup>		1,12 <sup>•</sup>	
Adubação mineral convencional	0,26 <sup>▲</sup>		1,85 <sup>▲</sup>		31,00 <sup>▲</sup>		13,82 <sup>▲</sup>		3,97 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,12 <sup>•</sup>	0,18 <sup>•▲</sup>	2,10	1,85 <sup>•▲</sup>	33,00A <sup>•▲</sup>	26,75B <sup>•▲</sup>	12,80A <sup>•▲</sup>	10,90B	2,40 <sup>•▲</sup>	2,27 <sup>•▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,22 <sup>•▲</sup>	0,20 <sup>•▲</sup>	2,30A	2,00B <sup>•▲</sup>	35,00 <sup>▲</sup>	31,00 <sup>•▲</sup>	12,20 <sup>•▲</sup>	11,50 <sup>•</sup>	4,07 <sup>▲</sup>	2,97 <sup>•▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,16 <sup>•▲</sup>	0,22 <sup>•▲</sup>	2,12	2,12	31,00 <sup>•▲</sup>	27,75 <sup>•▲</sup>	12,00A <sup>•▲</sup>	10,17B	3,30 <sup>▲</sup>	3,80 <sup>▲</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,24 <sup>▲</sup>	0,19 <sup>•▲</sup>	2,30	2,10	31,75 <sup>•▲</sup>	27,75 <sup>•▲</sup>	11,62 <sup>•▲</sup>	10,80	4,57 <sup>▲</sup>	3,30 <sup>▲</sup>
Teste F										
Doses (D)	3,28 <sup>*</sup>		2,02 <sup>NS</sup>		1,44 <sup>NS</sup>		10,17 <sup>**</sup>		4,06 <sup>*</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	0,71 <sup>NS</sup>		7,57 <sup>*</sup>		9,73 <sup>**</sup>		0,98 <sup>NS</sup>		2,11 <sup>NS</sup>	
D x MA	2,92 <sup>NS</sup>		0,93 <sup>NS</sup>		0,21 <sup>NS</sup>		0,60 <sup>NS</sup>		1,48 <sup>NS</sup>	
TA x [D x MA]	0,45 <sup>NS</sup>		15,49 <sup>**</sup>		0,92 <sup>NS</sup>		19,85 <sup>**</sup>		4,19 <sup>NS</sup>	
CV (%)	24,89		9,39		13,13		9,77		30,59	
10-20 cm										
Controle	0,10 <sup>•</sup>		2,02 <sup>▲</sup>		35,25 <sup>•</sup>		12,30 <sup>•</sup>		0,57 <sup>•</sup>	
Adubação mineral convencional	0,30 <sup>▲</sup>		1,87 <sup>•</sup>		36,25 <sup>▲</sup>		12,52 <sup>▲</sup>		1,02 <sup>▲</sup>	
10 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,13 <sup>•</sup>	0,18 <sup>•▲</sup>	1,92 <sup>▲•</sup>	1,77 <sup>•</sup>	35,75A <sup>•▲</sup>	28,00B	11,07 <sup>•▲</sup>	10,47 <sup>•▲</sup>	0,72B <sup>•▲</sup>	1,40A <sup>▲</sup>
15 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,20 <sup>•▲</sup>	0,19 <sup>•▲</sup>	2,02 <sup>▲•</sup>	1,97 <sup>▲•</sup>	34,00 <sup>•▲</sup>	36,75 <sup>•▲</sup>	10,07B <sup>•</sup>	11,80A <sup>•▲</sup>	0,92 <sup>•▲</sup>	0,77 <sup>•▲</sup>
20 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,14 <sup>•</sup>	0,23 <sup>▲</sup>	1,92 <sup>▲•</sup>	1,90 <sup>▲•</sup>	35,25 <sup>•▲</sup>	32,75 <sup>•▲</sup>	10,67 <sup>•▲</sup>	10,97 <sup>•▲</sup>	0,82 <sup>•▲</sup>	0,87 <sup>•▲</sup>
25 t ha <sup>-1</sup> de CLE (base úmida)	0,18 <sup>•▲</sup>	0,25 <sup>▲</sup>	2,02 <sup>▲•</sup>	1,97 <sup>▲•</sup>	32,00 <sup>•▲</sup>	33,00 <sup>•▲</sup>	10,70 <sup>•▲</sup>	9,92	1,20A <sup>•▲</sup>	0,72B <sup>•▲</sup>
Teste F										
Doses (D)	1,13 <sup>NS</sup>		3,82 <sup>*</sup>		3,76 <sup>*</sup>		0,49 <sup>NS</sup>		0,85 <sup>NS</sup>	
Modos de Aplicação (MA)	4,16 <sup>NS</sup>		3,37 <sup>NS</sup>		4,03 <sup>NS</sup>		0,17 <sup>NS</sup>		0,05 <sup>NS</sup>	
D x MA	0,73 <sup>NS</sup>		0,55 <sup>NS</sup>		8,1 <sup>**</sup>		2,09 <sup>NS</sup>		4,74 <sup>**</sup>	
TA x [D x MA]	0,19 <sup>NS</sup>		0,05 <sup>NS</sup>		6,52 <sup>*</sup>		14,82 <sup>**</sup>		1,11 <sup>NS</sup>	
CV (%)	35,68		5,45		6,75		10,10		34,75	

\*\* , \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ▲ , • – Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. TA = Tratamentos adicionais.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No teor de B, não houve diferença do modo de aplicação. O tratamento controle foi menor que as doses 20 e 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, e o tratamento AMC foi superior as doses 10 e 20 t ha<sup>-1</sup> de CLE distribuído em área total. O Cu apresentou diferença somente no tratamento controle com a dose 10 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, sendo superior. Para o Fe, foi observada diferença do modo de aplicação para a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE sendo em área total o melhor método. Os tratamentos adicionais foram superiores a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de CLE aplicado nas entrelinhas.

O Mn apresentou diferença do modo de aplicação na dose 15 t ha<sup>-1</sup>, sendo nas entrelinhas o melhor método. Ambos os tratamentos adicionais foram superiores a dose 25 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas. O tratamento AMC também foi maior que a dose 15 t ha<sup>-1</sup> em área total. O Zn apresentou diferença entre os modos de aplicação para 10 e 25 t ha<sup>-1</sup>, sendo os métodos nas entrelinhas e em área total os melhores, respectivamente. O tratamento controle foi inferior a dose 10 t ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas, e o tratamento AMC foi semelhante a todos os tratamentos adubados com CLE.

Assim como ocorreu para os teores de macronutrientes, os micronutrientes também obtiveram redução em relação a análise feita após o cultivo do milho. Nutrientes como o B e Zn, deficientes em solos do Cerrado (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001), tiveram seus teores diminuídos possivelmente devido à extração feita pelo capim-marandu. Ainda assim, as quantidades remanescentes no solo podem ser consideradas médias para o B e elevadas para o Zn (RAIJ *et al.*, 1997).



## 6 CONCLUSÕES

1. O efeito residual das sucessivas aplicações do CLE não contribuiu para melhorar ou manter o adequado desenvolvimento e produtividade das plantas de milho.
2. A produção de biomassa de capim-marandu foi maior nas doses de CLE acima de 20 t ha<sup>-1</sup>, base úmida.
3. O capim-marandu foi capaz de acumular grandes quantidades de nutrientes, que posteriormente poderão ser disponibilizados às plantas por meio da mineralização da palhada remanescente.
4. A aplicação de CLE promove a ciclagem dos nutrientes mantendo a fertilidade do solo em níveis adequados, além de incrementar os teores de P, B e o Zn.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. *In.*: 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, 2001a. p. 231–239.
- ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; ANDRADE, J. C. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com micro-onda. *In.*: 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, 2001b. p. 231–239.
- ABREU, S. A. H.; ARRUDA, E. M.; BARROS, L. R.; ALMEIDA, R. F.; MARANHÃO, D. D. C.; SILVA, V. L.; NETO, C. M. S.; FLORES, R. A.; CALIL, F. N.; COLLIER, L. S. Chemical attributes of the soil in agroforestry systems subjected to organic fertilizations. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 27, p. 2378–2388, 2016.
- ALBUQUERQUE, H. C.; ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; ZONTA, E.; BARBOSA, C. F. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 553–559, 2015.
- ALVARENGA, P.; FARTO, M.; MOURINHA, C.; PALMA, P. Beneficial use of dewatered and composted sewage sludge as soil amendments: behaviour of metals in soils and their uptake by plants. **Waste and Biomass Valorization**, v. 7, n. 5, p. 1189–1201, 2016.
- AMRITHA, P. K.; KUMAR, P. A. Productive landscapes as a sustainable organic waste management option in urban areas. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, n. 2, p. 709–726, 2017.
- ANDRADE, R. A.; PORTO, M. O.; CAVALI, J.; FERREIRA, E.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, F. R. D.; AGUIAR, I. S. D. Azospirillum brasilense e fosfato natural reativo no estabelecimento de forrageira tropical. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 141–150, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 14 dez. 2021.
- 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.

BARBOSA, J. C.; MALDONATO, J. W. AgroEstat versão 1.0 – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, SP. 2009.

ELLOUMI, N.; JERBI, B.; ZOUARI, M.; ABDALLAH, F. B.; 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, n. 20, p. 20168–20177, 2016.

BERTOLAZI, K. B.; AFÁZ, D. C. DE S.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, Araras, v. 4, n. 1, p. 72–78, 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.

BEZERRA, M. G. S.. **Crescimento e acúmulo de nutrientes do capim-marandu e resposta às adubações nitrogenada e fosfatada**. 2019. 61 f. Tese (Doutorado Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba metropolitan region, Parana, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 225, n. 9, p. 1–8, 2014.

BLOEM, E.; ALBIHN, A.; ELVING, J.; HERMANN, L.; LEHMANN, L.; SARVI, M.; SCHAAF, T.; SCHICK, J.; TURTOLA, E.; YLIVAINIO, K. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: a review. **Science of the Total Environment**, v. 607, n. 25, p. 225–242, 2017.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 252–261, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa no 61. 2020**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Acesso em 16 de set. de 2020.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 66, n. 1, p. 41–53, 2015.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 796–803, 2011.

CARDOSO, W. S.; PINHEIRO, F. A.; MACHADO, F. P.; BORGES, J. T. S.; RIOS, S. A. Indústria do Milho. In: BOREM, A.; RIOS, S. A. **Milho Biofortificado**. Embrapa Milho e Sorgo, 2011, 211p.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C. G.; JARQUE, N. A. **Aproveitamento de resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha**. XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 9, p. 79–96, 2015. Disponível em: [http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1173/1196](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1173/1196). Acesso em: 11 abr. 2016.

CHRISPIM, M.C.; SOUZA, F. M.; SCHOLZ, M.; NOLASCO, M. A. A Framework for Sustainable Planning and Decision-Making on Resource Recovery from Wastewater: Showcase for São Paulo Megacity. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3466–3501, 2020.

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. 2019.

COELHO, A. M. Adubação foliar em milho utilizando fertilizantes multinutrientes. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. Norma P 4.230. São Paulo, CETESB, 1999. 32p. (Manual Técnico).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. 2020. **Séries históricas: Brasil – por unidades de Federação**. Disponível em: <http://conab.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. 2021. **Séries históricas: Brasil – por unidades de Federação**. Disponível em: <http://conab.gov.br>. Acesso em: 05 jan. 2022.

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.

COSTA, N. L.; RODRIGUES, A. N. A.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B.; RODRIGUES, B. H. N.; SEIXAS SANTOS, F. J. Morphogenesis and chemical composition of *Brachiaria humidicola* cv. Llanero under rest periods. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. 1–10, 2019.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies

de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n. 8, p.1038–1047, 2012.

CURCI, M.; LAVECCHIA, A.; CUCCI, G.; LACOLLA, G.; DE CORATO, U.; CRECCHIO, C. Short-Term Effects of Sewage Sludge Compost Amendment on Semiarid Soil. **Soil Systems**, v. 4, n. 48, p. 1–18, 2020.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, L. A.; SPERANDIO, M. V. L. Micronutrientes. *In.*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 491–562.

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.

DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOLW. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v, 31, n. 4, p. 701–711, 2007.

DUPAS, E.; BUZETTI, S.; RABÊLO, F.H.S.; SARTO, A.L.; CHENG, N.C.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GALINDO, F.S.; DINALLI, R.P.; GAZOLA, R.N. Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 9, p. 1330–1338, 2016.

FANCELLI, A. L. Milho. *In.*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. p. 39–93.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO – FEBRAPDP. **O que é Sistema Plantio Direto?** 2018. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/sistema-plantio-direto-o-que-e>. Acesso em: 20 set. 2020.

FERNANDES, J.C.; BUZETTI, S.; DUPAS, E.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; ANDREOTTI, M. Sources and rates of nitrogen fertilizer used in Mombasa guineagrass in the Brazilian Cerrado region. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 19, p. 2076-2082, 2015.

FIorentin, C.F.; LEMOS, L.B.; JARDIM, C.A.; FORNASIERI FILHO, D. Formação e manutenção de palhada de gramíneas concomitante a influência da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro irrigado em sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 917–924, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Conservation Agriculture: Soil organic cover**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/en/>. Acesso em: 20 set. 2020.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. *In.*: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 185–226.

GALINDO F.S.; TEIXEIRA FILHO M.C.M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J.M.K.; ALVES, C.J.; NOGUEIRA, L.M.; LUDKIEWICZ, M.G.Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J.L.M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 1–18, 2016.

GALINDO, F.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G.C.; BOLETA, E.H.M.; BARCO NETO, M.; BIAGINI, A.L.C.; BARATELLA, E.B.; SOUZA, J.S. Nitrogen rates associated with the inoculation of *Azospirillum brasilense* and application of Si: effects on micronutrients and silicone concentration in irrigated corn. **Open Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 510–523, 2018.

GICHANGI, E. M.; NJARUI, D. M. G. Gatheru, m. plant shoots and roots biomass of brachiaria grasses and their effects on soil carbon in the semi-arid tropics of Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 20, n. 1, p. 65–74, 2017.

GONÇALVES, F. T. A.. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. 2005. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

GONÇALVES, R. D. M.; DIAS, R. D. C.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J.; ZONTA, E. Avaliação de diferentes fontes e doses de boro no cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2018.

GUERRINI, I. A.; CROCE, C. G. G.; BUENO, O. DE C.; JACON, C. P. R. P.; NOGUEIRA, T. A. R.; FERNANDES, D. M.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 22, n. 1, p. 93–104, 2017.

HARGREAVES, J. C., ADL, M.S., WARMAN, P.R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystem & Environment**, v. 123, n. 1, p.1–14, 2008.

HE, M. M.; TIAN, G. M.; LIANG, X. Q. Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, n. 2, p.671–677, 2009.

JAKUBUS, M.; BAKINOWSK, E. Visualization of long-term quantitative changes of microelements in soils amended with sewage sludge compost evaluated with two extraction solutions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 49, n. 11, p. 1355–1369, 2018.

JANOWSKA, B., SZYMANSKI K., SIDELKO R., SIEBIELSKA I.; WALENDZIK B. Assessment of mobility and bioavailability of mercury compounds in sewage sludge and composts. **Environmental research**, v. 156, n. 1, p. 394–403, 2017.

JÚNIOR, M. R. R.; CANAVER, A. B.; RODRIGUES, A. B.; NETO, F. J. D.; SPERS, R. C. Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetidas a diferentes tipos de adubação (Química e Orgânica). **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 24, n. 1, p. 49–53. 2017.

KHALIL, A. I.; HASSOUNA, M. S.; EL-ASHQAR, H. M. A.; FAWZI, M. Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 27, n. 10, p. 2359–2369, 2011.

LAMASTRA, L.; SUCIU, N. A.; TRVISAN, M. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 1–6, 2018.

LEITE, F. **Lodo de esgoto será usado para produzir energia**. 2016. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,lodo-e-esgoto-serao-usados-para-produzir-energia,10000065602>. Acesso em: 12 jan. 2019.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v.41, n.1, p.29–35, 2010.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v. 2, 1994. 168 p.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v. 137, n. 1, p. 1–72, 2016.

LOPES, G. H. L.; VILAR, C. C.; USHIWATA, S. Y.; REIS, R. G. E.; SILVEIRA, D. S. S.; TAFAREL, A. H. Produção de *Urochloa brizantha* cv. Marandu submetida à adubação potássica de estabelecimento. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 13, n. 1, p. 1–8, 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MATOS, A. **Potencialidades e limitações do uso de Lodo de Esgoto em solo- Aspectos Agrônômicos, controle de atratividade de vetores e de impactos ambientais**. Belo Horizonte: Visual, 2018. Disponível em: <http://etes->

sustentaveis.org/wpcontent/uploads/2018/05/Palestra-Matos-Workshop-Lodo-2.pdf. Acesso em: 11 jan. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Instrução Normativa n. 61, de 8 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**, Secretaria Executiva, Brasília, DF, 14 jul. 2020. Seção 1, p. 5.

MODESTO, V. C. **Diagnose da composição nutricional e eficiência de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D.; ABREU, J. B. R.; DAIUB, J. A. S.; SILVA, J. E. P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, n. 52, v. 1, p. 135–141. 1995.

MORAES, M. F.; ABREU-JUNIOR, C. H.; LAVRES-JUNIOR, J. L. Micronutrientes. *In.*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. p. 205–278.

MOREIRA, R. S.; LENSE, G. H. E.; FÁVERO, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, B. M.; MINCATO, R. L. Nutritional status and physiological parameters of maize cultivated with sewage sludge. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2020.

MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L.; SANTOS, B. R. Heavy metals availability and soil fertility after land application of sewage sludge on dystroferric red latosol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 6, p.512–520, 2013.

MOREIRA, S. F.; SANTOS, S. D. O.; SARDINHA, A. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. O. lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas/ETE sludge as an alternative to soil recovery in degraded areas. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 3, p. 1564–1585, 2019.

NASCIMENTO; A. L.; SAMPAIO; R. A.; ZUBA JUNIO; G. R.; FERNANDES; L. A.; CRUZ, S. F.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F. LIMA, N. N. 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.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FONSECA, I. M.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S. E.; FERREIRA, L. C.; GOMES, E.; FERNANDES, L. A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 331–338, 2007.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmiu, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2195–2207, 2008.



NOGUEIRA, T.A.R.; FRANCO, A.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P.; ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v. 114, n. 1, p. 168–177, 2013.

OLIVEIRA, T. P.; FLORES, H. L.; MELO, S. P. Uso de siligesso 70® na recuperação de pastagem degradada de capim-marandu na região do cerrado. **Revista Panorâmica online**, v. 3, n. 1, p. 36–48, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Population Prospects: The 2017 Revision**. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>. Acesso em 14 abr. 2021.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p.17–25, 2011.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. D.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875–882, 2011.

PASQUALONE, A.; SUMMO, C.; CENTOMANI, I.; LACOLLA, G.; CARANFA, G.; CUCCI, G. Effect of composted sewage sludge on morpho-physiological growth parameters, grain yield and selected functional compounds of barley. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1502–1508, 2017.

PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L.; AMARAL, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, p. 125–142, 2018.

PIETRAMALE, R. T. R.; VALENTIM, J. K.; MARQUES, O. F. C.; LEITE, B. K. V.; PETROMALI, G. F. S. G.; CASTILHO, V. A. R. de; BARBOSA, D. K.; RUVIARO, C. F.; OLIVEIRA NETO, S. S. de; HEINRICH, R. Marandu grass production under nutrient deficient conditions at different cutting times. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1–16, 2020.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PRATES, A. R. Atributos químicos do solo, estado nutricional e desempenho agrônômico na sucessão soja-milho adubados com composto de lodo de esgoto na região do Cerrado. 2020. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.

PRATES, A. R.; COSCIONE, A. R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MIRANDA, B. G.; ARF, O.; ABREU-JUNIOR, C. H.; OLIVEIRA, F. C.; MOREIRA, A.; GALINDO, F. S.;

SARTORI, M. M. P.; HE, Z.; JANI, A. D.; CAPRA, G. F.; GANGA, A.; NOGUEIRA, T. A. R. Composted Sewage Sludge Enhances Soybean Production and Agronomic Performance in Naturally Infertile Soils (Cerrado Region, Brazil). **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1677–1696, 2020.

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

RAIJ, B. V.; 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. 285p.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, v. 542, n. 1, p. 1050–1061, 2016.

RSTUDIO: Integrated Development for R. Boston, MA: PBC. 2020.  
<http://www.rstudio.com/>.

SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16–27, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS NETO, F. E. **Um modo de entender: uma nova forma de viver**. Catanduva: Boa Nova. 2004. 192 p.

SIEBIELEC, G.; SIEBIELEC, S.; LIPSKI, D. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, n. 1, p. 372–379, 2018.

SILVA, S.C.D.; BUENO, A.A.D.O.; CARNEVALLI, R.A.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; MATTHEY, C.; ARNOLD, G.C.; MORAIS, J.P.G. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 8–19, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2019**. Brasília, DF, 2020. Disponível em:  
[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico\\_RS2019.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf). Acesso em: 14 dez. 2021.

SOUTO, L. S. **Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto**. 2007. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SOUSA, L. F. **Sistema de plantio de alho utilizando capim-marandú como planta de cobertura em diferentes épocas de dessecação**. 2019. 27 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 3, p. 267–281, 2019.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 867–876, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 573 p.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 464–471, 2016.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127–1138, 2011.

**APÊNDICE A – Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação à produtividade de milho, acúmulo de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) e micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>) e produção de biomassa do capim-marandu em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto.**

Variável	Equação (AT)	F	R <sup>2</sup>	Equação (EL)	F	R <sup>2</sup>
<b>PROD</b>	$\hat{Y} = 3458,00$	0,44 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 3494,40$	0,26 <sup>NS</sup>	-
<b>N</b>	$\hat{Y} = 2,09x + 34,70$	14,58**	0,79	$\hat{Y} = 69,71$	0,21 <sup>NS</sup>	-
<b>P</b>	$\hat{Y} = 0,48x + 10,39$	13,14**	0,88	$\hat{Y} = 7,32$	2,24 <sup>NS</sup>	-
<b>K</b>	$\hat{Y} = 3,72x + 57,85$	16,73**	0,82	$\hat{Y} = 120,41$	1,27 <sup>NS</sup>	-
<b>Ca</b>	$\hat{Y} = 1,34x + 15,60$	18,57**	0,93	$\hat{Y} = 38,23$	0,39 <sup>NS</sup>	-
<b>Mg</b>	$\hat{Y} = 0,71x + 12,56$	9,04**	0,82	$\hat{Y} = 26,27$	0,21 <sup>NS</sup>	-
<b>S</b>	$\hat{Y} = 7,51$	2,84 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 7,43$	0,13 <sup>NS</sup>	-
<b>B</b>	$\hat{Y} = 1,91x + 10,47$	13,18**	0,94	$\hat{Y} = 50,40$	1,42 <sup>NS</sup>	-
<b>Cu</b>	$\hat{Y} = 37,45$	1,63 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 41,53$	0,64 <sup>NS</sup>	-
<b>Fe</b>	$\hat{Y} = 1413,29$	3,19 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 1523,20$	0,77 <sup>NS</sup>	-
<b>Mn</b>	$\hat{Y} = 719,17$	3,05 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 735,57$	1,68 <sup>NS</sup>	-
<b>Zn</b>	$\hat{Y} = 6,88x + 97,12$	19,12**	0,96	$\hat{Y} = 223,70$	1,78 <sup>NS</sup>	-
<b>Biomassa</b>	$\hat{Y} = 238,60x + 4543,25$	15,20**	0,96	$\hat{Y} = 8612,50$	1,23 <sup>NS</sup>	-

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. AT = Área total. EL = Entrelinhas. PROD = Produtividade.

**APÊNDICE B – Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos atributos químicos e nutrientes em diferentes profundidades do solo após o cultivo de milho em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto.**

Variável	Equação (AT)	F	R <sup>2</sup>	Equação (EL)	F	R <sup>2</sup>
<i>0–10 cm</i>						
MO	$\hat{Y} = 19,75$	0,63 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 19,44$	1,20 <sup>NS</sup>	-
pH	$\hat{Y} = 0,06x + 5,13$	28,02 <sup>**</sup>	0,82	$\hat{Y} = 0,02x + 5,58$	4,41 <sup>*</sup>	0,90
H+Al	$\hat{Y} = -0,80x + 30,25$	18,85 <sup>**</sup>	0,72	$\hat{Y} = -0,38x + 25,08$	4,25 <sup>*</sup>	0,93
Al	$\hat{Y} = 0,00$	-	-	$\hat{Y} = 0,00$	-	-
SB	$\hat{Y} = 2,94x + 24,36$	51,02 <sup>**</sup>	0,95	$\hat{Y} = 1,17x + 42,41$	8,12 <sup>**</sup>	0,82
V	$\hat{Y} = 2,06x + 49,60$	52,10 <sup>**</sup>	0,90	$\hat{Y} = 0,80x + 63,62$	7,86 <sup>**</sup>	0,94
CTC	$\hat{Y} = 1,64x + 57,91$	21,99 <sup>**</sup>	0,80	$\hat{Y} = 74,41$	0,63 <sup>NS</sup>	-
P	$\hat{Y} = 2,21x + 8,40$	20,45 <sup>**</sup>	0,95	$\hat{Y} = 2,41x + 2,45$	24,37 <sup>**</sup>	0,86
K	$\hat{Y} = 0,10x + 0,77$	26,74 <sup>**</sup>	0,95	$\hat{Y} = 0,07x + 1,05$	13,87 <sup>**</sup>	0,92
Ca	$\hat{Y} = 1,05x + 12,09$	67,45 <sup>**</sup>	0,69	$\hat{Y} = 0,35x + 26,56$	7,71 <sup>**</sup>	0,82
Mg	$\hat{Y} = 0,19x + 13,21$	6,42 <sup>*</sup>	0,80	$\hat{Y} = 0,21x + 13,76$	7,86 <sup>**</sup>	0,90
S	$\hat{Y} = 4,34$	1,31 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 4,58$	1,73 <sup>NS</sup>	-
B	$\hat{Y} = 0,30$	1,14 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,38$	1,20 <sup>NS</sup>	-
Cu	$\hat{Y} = 0,02x^2 - 0,29x + 3,44$	11,38 <sup>**</sup>	0,92	$\hat{Y} = 2,49$	0,04 <sup>NS</sup>	-
Fe	$\hat{Y} = 0,32x^2 - 5,66x + 52,40$	6,95 <sup>*</sup>	0,87	$\hat{Y} = 26,50$	0,98 <sup>NS</sup>	-
Mn	$\hat{Y} = 22,77$	0,71 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 22,13$	0,96 <sup>NS</sup>	-
Zn	$\hat{Y} = 0,36x + 1,78$	16,58 <sup>**</sup>	0,89	$\hat{Y} = 4,51$	1,12 <sup>NS</sup>	-
<i>10–20 cm</i>						
MO	$\hat{Y} = 0,15x^2 - 2,68x + 27,81$	16,38 <sup>**</sup>	0,98	$\hat{Y} = 17,25$	0,23 <sup>NS</sup>	-
pH	$\hat{Y} = 5,38$	0,33 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 5,51$	0,41 <sup>NS</sup>	-
H+Al	$\hat{Y} = 28,75$	2,16 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 26,25$	0,67 <sup>NS</sup>	-
Al	$\hat{Y} = 0,06$	0,48 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,00$	-	-
SB	$\hat{Y} = -0,46x^2 + 9,19x - 7,32$	16,57 <sup>**</sup>	1,00	$\hat{Y} = 37,14$	1,21 <sup>NS</sup>	-
V	$\hat{Y} = 55,00$	0,00 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 58,44$	0,00 <sup>NS</sup>	-
CTC	$\hat{Y} = 1,28x + 51,71$	22,55 <sup>**</sup>	0,78	$\hat{Y} = 63,39$	3,20 <sup>NS</sup>	-
P	$\hat{Y} = 0,65x^2 - 10,74x + 63,36$	7,94 <sup>**</sup>	0,97	$\hat{Y} = 1,73x + 5,68$	11,25 <sup>**</sup>	0,80
K	$\hat{Y} = 1,28$	2,37 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 1,27$	2,37 <sup>NS</sup>	-
Ca	$\hat{Y} = -0,31x^2 + 6,08x - 6,19$	13,47 <sup>**</sup>	0,99	$\hat{Y} = 23,44$	0,47 <sup>NS</sup>	-
Mg	$\hat{Y} = -0,14x^2 + 2,81x - 1,02$	16,04 <sup>**</sup>	1,00	$\hat{Y} = 12,44$	1,98 <sup>NS</sup>	-
S	$\hat{Y} = 0,06x^2 - 1,07x + 8,92$	8,34 <sup>**</sup>	0,84	$\hat{Y} = 4,98$	4,09 <sup>NS</sup>	-
B	$\hat{Y} = 0,316$	2,87 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,38$	0,26 <sup>NS</sup>	-
Cu	$\hat{Y} = 2,27$	2,43 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 2,20$	0,22 <sup>NS</sup>	-
Fe	$\hat{Y} = 29,31$	0,05 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 27,50$	0,08 <sup>NS</sup>	-
Mn	$\hat{Y} = 0,22x^2 - 3,80x + 36,72$	12,24 <sup>**</sup>	0,99	$\hat{Y} = 21,20$	0,02 <sup>NS</sup>	-
Zn	$\hat{Y} = 0,06x^2 - 1,11x + 6,37$	9,21 <sup>**</sup>	0,86	$\hat{Y} = 0,12x + 0,66$	5,96 <sup>*</sup>	0,89

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>NS</sup> – Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. AT = Área total. EL = Entrelinhas. MO = Matéria orgânica. CTC = Capacidade de troca catiônica. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases.

**APÊNDICE C – Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos atributos químicos e nutrientes no solo após o cultivo do capim-marandu em resposta ao efeito residual de doses e do modo de aplicação de composto de lodo de esgoto.**

Variável	Equação (AT)	F	R <sup>2</sup>	Equação (EL)	F	R <sup>2</sup>
<i>0–10 cm</i>						
MO	$\hat{Y} = -0,03x^2 + 0,98x + 13,86$	4,49*	0,88	$\hat{Y} = 21,50$	2,97 <sup>NS</sup>	-
pH	$\hat{Y} = 0,02x + 5,08$	7,39*	0,94	$\hat{Y} = 0,02x + 5,25$	4,37*	0,88
H+Al	$\hat{Y} = 24,00$	2,99 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 22,38$	0,75 <sup>NS</sup>	-
Al	$\hat{Y} = 0,06$	0,06 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,19$	2,63 <sup>NS</sup>	-
SB	$\hat{Y} = 0,65x + 33,19$	17,09**	0,83	$\hat{Y} = -0,10x^2 + 4,13x + 8,10$	7,91*	0,95
V	$\hat{Y} = 0,56x + 54,92$	9,41**	0,80	$\hat{Y} = 0,44x + 60,02$	5,84*	0,75
CTC	$\hat{Y} = 68,56$	3,95 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,08x^2 + 3,55x + 36,03$	6,74*	0,86
P	$\hat{Y} = 1,20x + 5,60$	22,02**	0,72	$\hat{Y} = -0,12x^2 + 5,01x - 25,55$	9,95**	0,97
K	$\hat{Y} = 1,97$	0,02 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 1,92$	1,31 <sup>NS</sup>	-
Ca	$\hat{Y} = 0,41x + 17,95$	26,12**	0,84	$\hat{Y} = -0,06x^2 + 2,40x + 4,88$	13,99**	0,88
Mg	$\hat{Y} = 0,24x + 13,27$	8,11**	0,80	$\hat{Y} = 0,36x + 12,22$	17,02**	0,86
S	$\hat{Y} = 2,94$	0,08 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,01x^2 + 0,48x - 1,54$	10,61**	0,96
B	$\hat{Y} = 0,19$	0,13 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,20$	0,17 <sup>NS</sup>	-
Cu	$\hat{Y} = 2,20$	0,97 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 2,02$	4,12 <sup>NS</sup>	-
Fe	$\hat{Y} = 32,69$	0,76 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 28,31$	1,15 <sup>NS</sup>	-
Mn	$\hat{Y} = 12,15$	2,05 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 10,84$	0,39 <sup>NS</sup>	-
Zn	$\hat{Y} = 3,59$	0,17 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 3,09$	3,21 <sup>NS</sup>	-
<i>10–20 cm</i>						
MO	$\hat{Y} = 17,75$	0,85 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 18,25$	1,34 <sup>NS</sup>	-
pH	$\hat{Y} = 0,02x + 4,88$	5,72*	0,77	$\hat{Y} = 5,18$	0,05 <sup>NS</sup>	-
H+Al	$\hat{Y} = 27,75$	4,34*	-	$\hat{Y} = 26,50$	0,14 <sup>NS</sup>	-
Al	$\hat{Y} = 0,75$	2,61 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,75$	1,16 <sup>NS</sup>	-
SB	$\hat{Y} = 30,04$	3,09 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,07x^2 + 2,88x + 5,43$	13,14**	0,88
V	$\hat{Y} = 52,19$	5,42*	-	$\hat{Y} = -0,06x^2 + 2,58x + 28,96$	4,27*	0,87
CTC	$\hat{Y} = 58,02$	0,51 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,07x^2 + 2,72x + 35,23$	15,63**	0,95
P	$\hat{Y} = 0,36x + 5,45$	5,20*	0,72	$\hat{Y} = 10,44$	0,84 <sup>NS</sup>	-
K	$\hat{Y} = 1,11$	0,04 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 1,11$	1,03 <sup>NS</sup>	-
Ca	$\hat{Y} = 17,62$	0,79 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,05x^2 + 1,84x + 2,06$	14,23**	0,83
Mg	$\hat{Y} = 0,10x + 9,75$	6,16*	1,00	$\hat{Y} = -0,03x^2 + 1,09x + 1,81$	9,32**	0,98
S	$\hat{Y} = 0,02x^2 - 0,52x + 6,45$	10,66**	0,92	$\hat{Y} = 2,50$	2,13 <sup>NS</sup>	-
B	$\hat{Y} = 0,17$	0,85 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,22$	3,79 <sup>NS</sup>	-
Cu	$\hat{Y} = 1,98$	0,28 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 1,91$	1,38 <sup>NS</sup>	-
Fe	$\hat{Y} = 34,25$	3,81 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 32,62$	4,61*	0,16
Mn	$\hat{Y} = 10,63$	0,04 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = -0,02x^2 + 0,78x + 5,13$	4,52*	0,90
Zn	$\hat{Y} = 0,86$	3,89 <sup>NS</sup>	-	$\hat{Y} = 0,78$	1,21 <sup>NS</sup>	-

\*\* , \* e <sup>NS</sup> – Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. AT = Área total. EL = Entrelinhas. MO = Matéria orgânica. CTC = Capacidade de troca catiônica. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases.