

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Walther Nabor Peloggia De Macedo

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO LODO DE
MALTERIA APLICADO NO SOLO CULTIVADO
COM MILHO (*Zea mays* L.)**

**Taubaté – SP
2023**

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
WALTHER NABOR PELOGGIA DE MACEDO

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO LODO DE MALTERIA APLICADO NO SOLO
CULTIVADO COM MILHO (*Zea mays* L.)**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Taubaté – SP
2023

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU**

M141a Macedo, Walther Nabor Peloggia de
Avaliação agrônômica do lodo de malteria aplicado no solo
cultivado com milho (*Zea mays* L.) / Walther Nabor Peloggia
de Macedo. -- 2023.
43 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté,
Departamento de Ciências Agrárias, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto. Departamento de
Ciências Agrárias.

1. Lodo de cervejaria. 2. Fertilização do solo. 3.
Aproveitamento de resíduos. I. Universidade de Taubaté.
Departamento de Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências
Ambientais. II. Título.

CDD 631.847

WALTHER NABOR PELOGGIA DE MACEDO

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO LODO DE MALTERIA APLICADO NO SOLO
CULTIVADO COM MILHO (*Zea mays* L.)**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Data: ____/____/____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Profa. Dra. Isabel Cristina de Barros Tranin
"Júlio de Mesquita Filho"

Universidade Estadual Paulista

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por sempre me apoiar nas escolhas que realizo, agradeço também aos professores do Mestrado em Ciências Ambientais por todo os conhecimentos passado ao longo dos dois anos do curso, e agradeço especialmente ao professor e coordenador do curso Dr. Marcelo Targa por possibilitar essa oportunidade de entrar no curso, ao professor Dr. Paulo Fortes Neto pela chance de trabalharmos juntos e ao professor Dr. Marcos Roberto Furlan pelas conversas construtivas e cafés.

RESUMO

A utilização do lodo biológico na agricultura vem sendo apresentado como uma alternativa mitigadora dos impactos ambientais desse resíduo. O lodo biológico proveniente de malteria, possui características de baixa toxidez, ausência de patógenos e a presença de macro e micronutrientes passíveis de serem aproveitados e absorvidos pelas raízes das plantas, podendo atender necessidades nutricionais de culturas e enriquecer a biota do solo. O objetivo do projeto foi reduzir o impacto ambiental do descarte do lodo de malteria e avaliar o lodo como fertilizante para o solo, para a nutrição das plantas de milho (*Zea mays L.*) e no rendimento da cultura. Foi utilizado o Delineamento de Blocos Casualizados (DBC) em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, onde foram aplicados cinco tratamentos com quatro repetições, totalizando vinte parcelas, utilizando lodo de malteria (base seca) nas doses: 24, 48 e 72 t ha⁻¹, comparadas à adubação mineral e ao tratamento controle, sem adubação. Verificou-se que o lodo de malteria proporcionou aumento da porcentagem de germinação das sementes de milho até 91,46%, o teor de umidade no solo até 20,56% e a produtividade de grãos com média máxima de 4,6 t ha⁻¹ e 8400 espigas por hectare na média máxima de produção, sendo capaz de garantir a nutrição das plantas de milho dentro da faixa considerada ideal pelo Boletim 100, ao longo do ciclo produtivo da cultura.

Palavras-chave: Lodo de cervejaria. Fertilização do solo. Aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

The use of biological sludge on the agriculture has been presented as a mitigating alternative against the environmental impacts of this waste. The biological sludge froma malt, has characteristics of low toxicity, absense of patógenos and the presence of macro e micronutrients capable of been used and absorved by the plants roots, been able to meet nutricionals necessities and enrich soil biota. The objective of this Project was reduce the environmental impact due to malter sludge disposal and avaluate the sludge as fertilizer to the soil, for corn plants nutricion (*Zea mays L.*) and crop yield. Was used Randomized Block Design (RBD) in Dystrophic Red Yellow Latosol, Where was applied five treatments with four repetitions, totalizing twenty plots, using malt sludge (dry base) in doses: 24, 48 e 72 t ha⁻¹, compared to mineral fertilizer and control treatment, without fertilizer. It was found that the malt sludge provided an increased the percentage from the corn seeds germination to 91,46%, the umity teor on the soil to 20,56%, grain productivity with a maximum average to 4,6 t ha⁻¹ and 21 ears per plot at maximum average production, been able to ensure the nutrition of corn plants within the range considered ideal by the Boletim 100, throughout the crop production cycle.

Palavras-chave: Malt sludge. Soil fertilization. Use of waste.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|------|
| Figura 1 - Distribuição das parcelas com os tratamentos na área experimental .. | 1919 |
| Figura 2 - Distribuição superficial das doses de lodo nas parcelas experimentais | 22 |
| Figura 3 - Coleta da folha oposta e abaixo da espiga de milho..... | 23 |
| Figura 4 - Folha de milho após a coleta para ser analisada. | 2424 |
| Figura 5 - O porte da espiga de milho colhida para determinar o rendimento de grãos. | 24 |
| Figura 6 - Produção de grãos de milho determinadas nas parcelas com adubação mineral (ADM), sem lodo (0 t.ha ⁻¹) e com lodo biológico nas doses com 24, 48 e 72 t.ha ⁻¹ | 3131 |
| Figura 7 - Número de espigas determinadas nas parcelas com adubação mineral (ADM), sem lodo (0 t.ha ⁻¹) e com lodo biológico nas doses com 24, 48 e 72 t.ha ⁻¹ | 3232 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Característica da composição química e patogênica do lodo biológico.... | 20 |
| Tabela 2 - Quantidades de Nitrogênio, Fósforo e Potássio fornecidos pelas doses de lodo aplicadas por hectare..... | 21 |
| Tabela 3 - Valores médios da taxa de germinação das sementes de milho e da umidade do solo, 20 dias após a semeadura do milho. | 26 |
| Tabela 4 - Teores de macronutrientes e micronutrientes determinados em amostras de folhas coletadas nas parcelas com adubação mineral, sem lodo e com doses de lodo biológico. | 288 |
| Tabela 5 - Características químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, 120 dias após a fertilização com adubação mineral e doses de lodo de esgoto. | 30 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 | Objetivo Geral..... | 13 |
| 2.2 | Objetivo Específico | 13 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 3.1 | A Produção Do Malte..... | 14 |
| 3.2 | Tratamento E Geração De Lodo De Malteria | 14 |
| 3.3 | Composição Química Do Lodo De Malteria..... | 14 |
| 3.4 | O Lodo Como Fonte De Nutrientes Para As Culturas Agrícolas | 15 |
| 3.4.1 | Lodo No Rendimento Das Culturas Agrícolas | 166 |
| 3.4.2 | Lodo Na Fertilidade Do Solo..... | 17 |
| 3.4.3 | Macro E Micronutrientes No Tecido Foliar..... | 18 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 19 |
| 4.1 | LOCAL DO EXPERIMENTO | 19 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO | 2020 |
| 4.3 | COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO BIOLÓGICO | 200 |
| 4.4 | Quantidade de nutrientes fornecidos pelos tratamentos por hectare..... | 21 |
| 4.5 | PREPARO DA ÁREA PARA A APLICAÇÃO DO LODO BIOLÓGICO | 2122 |
| 4.6 | SEMEADURA DO MILHO | 2222 |
| 4.7 | COLETA DAS FOLHAS DE MILHO..... | 2323 |
| 4.8 | DETERMINAR O RENDIMENTO DO MILHO | 2424 |
| 4.9 | ANÁLISE ESTATÍSTICA | 2525 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 266 |
| 5.1 | TAXA DE GERMINAÇÃO DO MILHO NO CAMPO | 266 |
| 5.2 | ANÁLISE DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO..... | 277 |
| 5.3 | COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO..... | 288 |
| 5.4 | RENDIMENTO DA PRODUÇÃO DO MILHO | 30 |
| 6 | CONCLUSÃO | 33 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 3434 |

1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico dos países vem elevando a taxa de urbanização e de crescimento populacional ao longo dos anos. Em vários locais a concentração de pessoas torna insustentável a acomodação do volume de cidadãos na infraestrutura da cidade, gerando insegurança e problemas ambientais que afetam, principalmente, a saúde humana.

As cidades, com esse crescimento demográfico, sofrem com o acúmulo de resíduos sólidos, exigindo que atividades industriais sejam planejadas para que reduza o descarte de seus resíduos. Infelizmente, muitos municípios não possuem sistema de saneamento básico que atenda todas as residências (BITTENCOURT et al., 2017), ou até mesmo locais onde há concentração de indústrias.

Os esgotos e águas residuárias provenientes das habitações e das indústrias entram na captação da rede de esgoto e seguem até a estação de tratamento, onde passam pelos procedimentos necessários e focados na diminuição do impacto ambiental que podem causar. No final de toda essa operação, os efluentes geram como subproduto, o lodo (parte sólida) e o efluente (parte líquida).

Mesmo quando há o tratamento de esgoto, ainda assim é gerado esse lodo de esgoto que possui constituição predominantemente orgânica e com teores variáveis de nutrientes, mas com compostos de potencial toxidez e possível presença de patógenos (PEDROZA et al., 2019). Esse lodo pode ser de origem urbana e industrial.

Dentro dos aspectos socioambientais, econômico, e técnico operacional, o lodo de esgoto é normalmente destinado para aterros sanitários, disposto para recuperação de áreas degradadas ou utilizado na agricultura como fonte nutricional para plantas, além da possibilidade de ser incinerado (ANDREOLI et al., 2014). Há outras alternativas de potencial aproveitamento, como, por exemplo, fonte de biomassa geradora de energia; e para incorporação de materiais de construção civil (BITTENCOURT et al., 2017).

Devido suas características físicas e químicas, esse resíduo possui potencial de uso na agricultura, no enriquecimento do solo e na nutrição das plantas (YADA, 2014), tanto para recuperação de áreas degradadas, como para o uso agrícola e florestal (BATISTA, 2015). Portanto, trata-se de uma opção mitigadora ao descarte desse resíduo diretamente no ambiente, além de ser apontada como fonte nutricional mais barata na adubação de culturas de interesse ao ser humano.

Apesar de suas vantagens, o lodo de esgoto tem que ser tratado quanto a presença de metais pesados (NASCIMENTO, 2014) e coliformes fecais. Dentre os diferentes tipos de lodo, o de malteria, proveniente das indústrias que trabalham com o malte, como as cervejarias, tem como uma de suas vantagens a ausência de coliformes fecais. E assim como os outros tipos de lodos, pode ser fonte de reciclagem de nutrientes para as plantas na agricultura. No entanto, essa aplicação ainda é pouco explorada.

Diante do exposto, justifica-se avaliar o uso do lodo da malteria para sua aplicação como adubo orgânico. Por suas particularidades de ser atóxico, sem patógenos e possuir macros e micronutrientes passíveis de serem aproveitados e absorvidos pelos vegetais, sua aplicação comprovada por meio de pesquisas poderá contribuir para a redução de adubos solúveis, enriquecer a qualidade da biota do solo, e ser um material de menor custo usado na produção vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial agronômico do lodo de malteria como fonte nutricional para plantas de milho.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a aplicação do lodo de malteria na fertilidade do solo;
avaliar a aplicação do lodo de malteria na nutrição das plantas de milho;
avaliar a aplicação do lodo de malteria e no rendimento da cultura de milho;
reduzir o impacto ambiental no processo de descarte e destinação final do lodo de malteria;
diminuir a quantidade de adubação de fósforo na cultura do milho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Produção do malte

O malte é um produto originário da germinação de diversas sementes de cereais, onde cevada, milho, trigo e outros são utilizados na composição da cerveja (AMBEV, 2019). De acordo com a Normativa Nº 65 de 10 de dezembro de 2019, “Malteação” é o processo no qual o grão de cereal é submetido à germinação parcial e posterior desidratação, com ou sem tostagem, em condições tecnológicas adequadas” (ANVISA, 2021).

Após o processo produtivo da cerveja, sobram três tipos de rejeitos: os resíduos orgânicos, os resíduos sólidos e os efluentes líquidos, compostos por água, bagaço de malte, trube e leveduras (OLAJIRE, 2012). Cordeiro (2012) apresenta o bagaço de malte com uma fonte rica em proteínas (21,9 g 100⁻¹g) e fibras (15,9 g 100⁻¹g) em base seca.

Além disso, segundo dados da CERVBRAZIL (2016), 20kg de resíduos úmidos de cervejaria (RUC) são gerados a cada 100 litros de cerveja produzidos.

3.2 Tratamento e geração do lodo de malteria

Na indústria cervejeira, normalmente os efluentes industriais são submetidos ao sistema de tratamento composto por processo físico-químico, apresentados pelas ações de gradeamento, peneiramento, decantação, equalização, flotação, coagulação e floculação, controle de pH e cloração. Enquanto o processo biológico de tratamento de efluentes pode ocorrer através dos sistemas de lodo ativado, reator anaeróbico, desnitrificação, sistema de aeração e outros (GEREMIAS, 2017).

3.3 Composição química do lodo da malteria

O resíduo úmido de cervejaria (RUC) é o principal rejeito de cervejaria e regularmente apresenta teor reduzido de cinzas, mas elevada concentração de umidade, de proteína, de carbono e relação C/N, de celulose, hemicelulose e lignina (ALDANA et al., 2021). Além disso, Almeida (2014) e Mizubuti et al. (2014) afirmam que o valor nutricional do resíduo de cervejaria tem relação com os tipos de grãos

que o compõe, e que o perfil de cerveja produzida e o processo industrial ao qual esse material é submetido também influenciam na qualidade do resíduo final, fora isso, o lodo de cervejaria é atóxico, e rico em fibras na parte sólida, com a presença de celulose, hemicelulose, lignina, proteínas e cinzas.

O lodo de malteria por apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, é classificado como Resíduo Não-Inerte - Classe II-A (ABNT NBR 10004/04), e para definir se esse material possui características benéficas ao solo, antes é necessário a análise do seu potencial agrônômico, através da verificação dos elementos como Boro, Cálcio, Cobre, Enxofre, Ferro, Fósforo, Magnésio, Manganês, Nitrogênio, Potássio, Sódio e Zinco, a fim de se estabelecer dosagens adequadas para cada cultura.

Por outro lado, Verreschi (2018) destaca que no tratamento de água de uma cervejaria estudada, são utilizados produtos como hidróxidos, polímeros condicionantes, altas taxas de cloro (para ação antimicrobiana) e até mesmo trihalometano (cancerígeno), podendo assim estarem presentes na composição final do lodo.

3.4 O lodo como fonte de nutrientes

O lodo de uma maneira geral é o subproduto do tratamento de efluentes sanitário e industrial, (URBAN et al., 2019), é um material de origem orgânica que contém em sua composição elementos que podem favorecer as características físico, químicas e biológica dos solos e auxiliar o desenvolvimento de culturas agrícolas (GUIMARÃES et al., 2018). Pedroza et al. (2019) afirmam que o lodo não é somente uma fonte importante de matéria orgânica, mas também de macro e micronutrientes, e quando aplicado no solo, pode propiciar diminuição do uso de adubos minerais, maior retenção de água e resistência à erosão.

Costa et al. (2014) apontam que o elevado teor de P no lodo é devido à sua característica aniônica, estando diretamente relacionado com a proporção de matéria orgânica e influenciado também pelo pH do solo, além disso, o fósforo também possui a característica de se ligar facilmente com seus oxidróxidos de Fe e Al podendo deixá-lo indisponível para a planta (ROY et al., 2016). Costa et al. (2014) também destacam que lodos de esgoto sem adição de cal comumente reduzem os valores de pH no solo, possivelmente ocasionado pela decomposição desse material via atividade

microbiana e pela dissociação de prótons dos grupos funcionais COOH e OH da matéria orgânica.

Por ser rico em matéria orgânica, promove cargas negativas no solo, o que acarreta aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) (LAVEZZO, 2016). Esse aumento da CTC também pode ser explicado quando o lodo recebe adição de óxido de cálcio (CaO), onde no projeto de Nascimento et al. (2014) constatou-se que esse tratamento a mais no lodo de esgoto resultou em um produto com potencial elevação do pH, promovendo a neutralização de íons H⁺ e da precipitação do alumínio, assim expondo mais cargas negativas no solo.

Krahenbuhl (2021) após revisão que analisou 36 publicações nacionais sobre o assunto, caracterizam a média dos atributos do lodo de esgoto dentro dos parâmetros agronômicos como: MO = 49,1% ± 10,2%, N = 3,9% ± 1,8%, P = 1,6% ± 0,9% e K = 0,3% ± 0,2%.

3.4.1 Lodo no rendimento das culturas agrícolas

Em diversas culturas já foram desenvolvidas pesquisas no Brasil com o resultado positivo quanto à resposta do lodo como adubo (URBAN, 2016). Gonçalves et al. (2019) na cultura do milho constataram que o lodo de esgoto mesmo contendo metais pesados, manteve os teores de toxidez bem abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 498/2006, além disso houve respostas positivas para nitrogênio, fósforo e no rendimento da matéria seca, enquanto o potássio não sofreu alteração. O fato do teor de potássio não elevar com as diferentes dosagens de lodo, provavelmente é devido a sua alta solubilidade em água, assim, esse elemento se perde no efluente líquido ao longo do tratamento do esgoto (LOPES, 2015), portanto há baixos teores deste elemento presente no lodo, onde Bremm et al. (2012) afirmam em sua pesquisa, que não obteve diferença estatística do potássio quando comparado ao tratamento controle.

Na cultura do milho Bremm et al. (2012) também comprovaram aumento de até 41,81% na produtividade de massa de grãos com a utilização de 15 t ha⁻¹ de lodo caleado (base seca), indicando que é possível ter produção satisfatória sem necessidade adicional de fertilizantes industriais. Barufi (2023), trabalhando com milho em solo de Cerrado, também provou que o uso a partir de 5 t ha⁻¹ de lodo (base úmida) na cultura do milho, proporcionou um aumento de 35% no índice de clorofila Falker

das plantas, que a altura das plantas foi superior, inclusive a altura da inserção da espiga, aumentou o diâmetro do colmo, número de grãos por espiga superior, número superior de grãos por fileira e massa de 1.000 grãos.

Outros estudos também comprovam a eficiência de sua utilização na cana de açúcar onde Bozza e Marchiori (2020) trabalhando com a cultura constataram que apesar do tratamento usando somente lodo apresentar resultado satisfatório, o uso só do adubo mineral foi o que mais se destacou em todos os parâmetros biométricos estudados. Com a cultura da banana, Barros (2020) apontou que a interação do lodo de esgoto, fertilizante orgânico e minerais expressam os melhores resultados nas características microbiológicas e químicas do solo e planta. Em laranjeiras da variedade “Pêra” (ROMEIRO et al., 2019), o lodo foi capaz de atender todas as necessidades de micronutrientes dos pés de laranja, quando comparado à adubação nitrogenada, aumentando os teores de micronutrientes no solo proporcionalmente às doses aplicadas.

3.4.2 Lodo na fertilidade do solo

Na agricultura, o lodo de esgoto se torna atrativo devido a presença de nutrientes como o nitrogênio, fósforo e potássio, além de ser rico em matéria orgânica ainda atua como condicionador do solo, podendo substituir parcialmente o uso de adubos químicos (FREDDI, 2019). As aplicações do lodo geram efeito direto na qualidade da biomassa microbiana, e no solo eleva as atividades enzimáticas, assim, podendo melhorar a fertilidade (HAMDI et al., 2019).

Gonçalves et. al (2019) apontam em sua pesquisa que os elementos nitrogênio, fósforo e potássio são predominantes na composição do lodo que eles trabalharam, além disso, os teores (mg.Kg^{-1} base seca) de metais pesados como Cu, Pb, Cr, Hg, Ni e Zn no solo, ficaram abaixo do limite máximo estabelecido pelo órgão responsável.

A utilização do lodo de esgoto a longo prazo pode trazer problemas ambientais devido aos contaminantes do ambiente que tem a possibilidade de entrar na cadeia alimentar como consequência, além disso, ainda é possível ocorrer a contaminação por patógenos, e acumular metais pesados no solo ou lixiviar esses componentes tóxicos para fontes de águas subterrâneas e superficiais (SOUZA et al., 2012).

Assim, a nível federal, a Resolução Nº 498 do CONAMA determina critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólidos em solo, incluindo

parâmetros das concentrações máximas de metais pesados no solo para uso agrícola (As, B, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn) (BRASIL, 2020). No Estado de São Paulo o órgão responsável, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente, é a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), onde em 1999 estabeleceu a Norma Técnica P4.230 (provisórias estaduais) visando regulamentar o uso agrícola de lodos, inclusive o lodo de esgoto (YADA, 2014).

Estando dentro das determinações da Resolução, a dose de lodo de esgoto aplicada, na maioria das vezes, é calculada baseada no fornecimento de nitrogênio à cultura (KRAHENBUHL, 2021), e apesar do fósforo possuir relevância, o nitrogênio é um fator limitante para a aplicação do lodo no solo, já que em elevadas concentrações, pode acarretar na sua lixiviação como nitrato e contaminar águas subterrâneas, além de poder gerar danos ao seres vivos (BRADY; WEIL, 2013).

Melo et al. (2018) realizaram um experimento de 10 anos na cultura do milho para avaliar o aumento de P no solo usando lodo de esgoto e adubação mineral nas proporções 50, 100 e 147,5 t ha⁻¹ em Latossolo, e constataram eficiência no fornecimento do elemento, garantindo produtividade equivalente à do uso de adubos minerais.

3.4.3 Macro e micronutrientes no tecido foliar

Barufi (2023) aponta em sua pesquisa que após o uso do lodo de esgoto na adubação da cultura do milho, os teores de macronutrientes obtidos na folha diagnose variaram de: N = 24,6-25,7 g.kg⁻¹; P = 2,5-2,6 g.kg⁻¹; K = 28,8-34,6 g.kg⁻¹; Ca = 4,0-4,7 g.kg⁻¹; Mg = 4,0-4,2 g.kg⁻¹ e S = 1,4-1,5 g.kg⁻¹, assim estando dentro dos padrões adequados para a cultura, onde somente o nitrogênio ficou com seu teor abaixo do ideal determinado por Raji (2011). Os micronutrientes no tecido foliar variaram seus teores de: B = 14,6-16,6 mg.kg⁻¹; Cu = 15,0-22,0 mg.kg⁻¹; Fe = 100,4-123,2 mg.kg⁻¹; Mn = 61,9-69,6 mg.kg⁻¹ e Zn = 38,1-41,4 mg.kg⁻¹, portanto não apresentou alteração significativa entre os tratamentos, mas está dentro dos parâmetros nutricionais adequados para o milho. Gonçalves et al. (2019) ao analisar as plantas de milho, também constataram que o uso do lodo de esgoto de até 30 t ha⁻¹ elevou os teores de N, P e peso da matéria seca (MS), apresentando efeito positivo devido à absorção desses nutrientes pelos vegetais, por outro lado o K não sofreu influência de acordo com as diferentes dosagens aplicadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

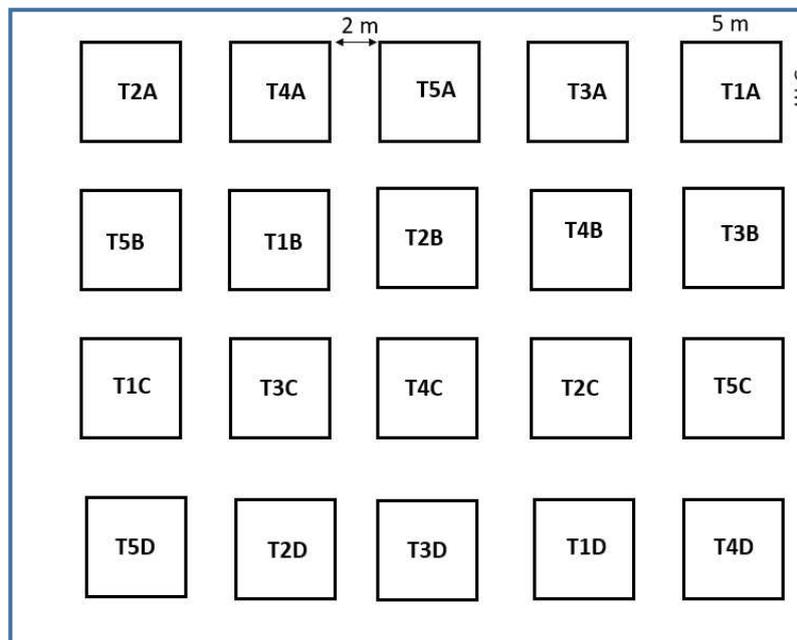
4.1 Local do experimento

O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté-SP (UNITAU), localizado no município de Taubaté nas coordenadas geográficas de latitude 23° Sul, e longitude 45° Oeste, com altitude de 581m. O clima é do tipo Cwa (Clima Tropical Úmido) de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperaturas quentes no verão e inverno ameno, a média do mês mais frio é de 18°C e uma média de 22°C no verão (FISCH, 1995). O tipo de solo predominante na área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999).

No projeto foi utilizado o Delineamento de Blocos ao Acaso com quatro repetições, e cinco tratamentos: T1 = sem fertilização com lodo e adubação mineral; T2 = com adubação mineral; T3 = 24t ha⁻¹ de lodo; T4 = 48t ha⁻¹ de lodo e T5 = 72t ha⁻¹ de lodo.

Na Figura 1 está apresentada a distribuição dos tratamentos na área experimental.

Figura 1 - Distribuição das parcelas com os tratamentos na área experimental



Fonte: O Autor.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

Para a caracterização química do solo foram coletadas de forma aleatória na camada de 0-20 cm de profundidade, quatro amostras simples de solo. Após a coleta essas amostras foram misturadas e homogeneizadas para compor uma amostra composta e depois foram enviadas para o Laboratório de Análise de Solo e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico e apresentou a seguinte composição química: pH (CaCl_2) = 5,5; fósforo ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 42; matéria orgânica ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 18; potássio ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 4,0; cálcio ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 25; magnésio ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 14; hidrogênio + alumínio ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 25; soma de bases ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 43,0; capacidade de troca de cátions ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$) = 68,0 e saturação de bases (%) = 63.

4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO BIOLÓGICO

O lodo de malteria utilizado neste estudo é proveniente da empresa Malteria do Vale S/A localizada em Taubaté-SP, e a composição química e patogênica do lodo biológico foi realizada tendo como base a determinação dos parâmetros determinados pela CETESB (2021), tais como: carbono orgânico; fósforo total; nitrogênio Kjeldahl; pH em água (1:10); potássio total; cálcio total, magnésio total, sódio total; umidade; Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio, Zinco, sólidos voláteis e *Samonella sp.* Os resultados da composição química e patogênica encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Característica da composição química e patogênica do lodo biológico.

| Variável | Resultados | Limites ⁽¹⁾ |
|--|------------|------------------------|
| Arsênio total (mg kg^{-1}) | < 0,05 | 75 |
| Cadmio total (mg kg^{-1}) | < 2 | 0,5 |
| Chumbo total (mg kg^{-1}) | < 3 | 840 |
| Cobre total (mg kg^{-1}) | < 2 | 4.300 |
| Crômio total (mg kg^{-1}) | < 2 | 500 |
| Mercúrio total (mg kg^{-1}) | < 0,001 | 57 |
| Níquel total (mg kg^{-1}) | < 6 | 75 |

| | | |
|--|-----------|-----------|
| Selênio total (mg kg ⁻¹) | < 0,01 | 100 |
| Zinco total (mg kg ⁻¹) | < 1 | 7.500 |
| pH | 7,0 | 5,5 – 7,0 |
| Nitrogênio total – Kjeldahl (mg kg ⁻¹) | 16.562,50 | - |
| Fósforo total (mg kg ⁻¹) | 9,8 | - |
| Potássio total (mg kg ⁻¹) | 334,4 | - |
| Sódio total (mg kg ⁻¹) | 43,3 | - |
| Sólidos totais voláteis (%) | < 10 | - |
| Carbono orgânico total (%) | 11,5 | - |
| Umidade (%) | 97 | - |
| Coliformes termotolerantes | 83,05 | 1.000 |
| <i>Salmonella</i> sp (NMP/4g ST) | Ausente | 3 |

Fonte: O Autor.

Nota: (1) Norma Técnica CETESB P 4.230/2021.

4.4 QUANTIDADE DE NUTRIENTES FORNECIDOS PELOS TRATAMENTOS POR HECTARE

Na adubação mineral foram fornecidos, 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 50 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) 30 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O) no plantio; 40 dias após a emergência de plantas, foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio conforme o estudo determinado por Cantarella et al., (2022). A adubação nitrogenada foi calculada de acordo com a Norma da CETESB 4230/2021, comparando o teor de nitrogênio disponível no solo, com o teor de nitrogênio disponível no lodo de malteria e utilizando metodologia de Cantarella et al., (2022).

Tabela 2 – Quantidades de Nitrogênio, Fósforo e Potássio fornecidos pelas doses de lodo aplicadas por hectare.

| Tratamentos | N | P | K |
|-------------------------------|--------|-------|--------|
| | | | |
| 24 t.ha ⁻¹ de lodo | 397,5 | 0,235 | 8,026 |
| 48 t.ha ⁻¹ de lodo | 795 | 0,47 | 16,051 |
| 72 t.ha ⁻¹ de lodo | 1192,5 | 0,706 | 24,077 |

Fonte: O Autor.

4.5 PREPARO DA ÁREA PARA A APLICAÇÃO DO LODO BIOLÓGICO

As vinte parcelas experimentais com dimensões de 5,0 x 5,0 m (25 m²) e com 2 m de distância entre si, foram demarcadas em uma área total de 1.170 m². Após a demarcação das parcelas foi realizada a aplicação do calcário dolomítico, aração e o gradeamento na profundidade de 20cm do solo. Depois de 50 dias foi aplicado e distribuído o lodo superficialmente em cada parcela nas quantidades de 0, 24, 48 e 72 toneladas por hectare (base seca) e, posteriormente, com o auxílio de uma enxada rotativa o lodo foi incorporado até 20 cm de profundidade do solo (Figura 2). No tratamento com adubação mineral, foram aplicados fertilizantes à base de nitrogênio, de fósforo (P₂O₅) e de potássio (K₂O) no plantio; e 40 dias após a emergência do milho foi realizada a aplicação de cobertura com fertilizante nitrogenado, conforme estipulado por Cantarella et al., (2022).

Figura 2 - Distribuição superficial das doses de lodo nas parcelas experimentais



Fonte: O Autor.

4.6 SEMEADURA DO MILHO

A semeadura do milho, Agroceres 1015, foi realizada mecanicamente com a distribuição de 6 a 7 sementes por metro linear e com espaçamento de 0,80 cm entre linhas.

4.7 COLETA DAS FOLHAS DE MILHO

A coleta das folhas foi realizada, 90 dias após a semeadura e foram coletadas 20 folhas por lote na posição mediana da planta, localizada como a primeira folha contrária à primeira espiga do pé, na posição de cima para baixo Figuras 3 e 4. Em seguida a nervura central da folha foi retirada, e junto, o ápice e a base de cada folha também foi cortada, ao qual, posteriormente no laboratório de solos da Universidade de Taubaté, foram realizadas as análises foliares dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (Cu, Mn e Zn), conforme a metodologia descrita por Raij (2011).

Figura 3 - Coleta da folha oposta e abaixo da espiga de milho.



Fonte: O Autor.

Figura 4 - Folha de milho após a coleta para ser analisada.



Fonte: O Autor.

4.8 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DO MILHO

Para avaliar o rendimento do milho foram coletadas aleatoriamente aos 90 dias após a semeadura, as espigas em dez plantas situadas dentro da parcela útil Figura 5.

Depois as espigas foram colocadas em uma estufa de ventilação forçada a ± 65 °C, até atingir peso constante e pesados para a obtenção da massa seca. A produtividade foi estimada extrapolando-se os dados de massa seca dos grãos da área ocupada pelas dez plantas (2 m²) para um hectare.

Figura 5 - O corte da espiga de milho colhida para determinar o rendimento de grãos.



Fonte: O Autor.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após ser verificada se há distribuição normal ou variância semelhante (homoscedasticidade), os resultados foram submetidos à análise de variância, e as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Foi utilizado o programa BIOESTAT 5.3, que só aceita a ANOVA quando há homoscedasticidade entre os dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TAXA DE GERMINAÇÃO DO MILHO NO CAMPO

Na Tabela 3 estão apresentados a média de germinação das sementes de milho e da umidade do solo de acordo com cada tratamento, e 20 dias posterior ao plantio. Percebe-se que entre os tratamentos utilizados, aqueles com a presença do lodo de maltearia foram os que obtiveram o melhor resultado na germinação das sementes de milho (acima de 90,40%) e no teor de umidade do solo também (acima de 19,89%), enquanto o tratamento somente com adubo mineral apresentou uma taxa de germinação igual a 69,02% e 12,37% de umidade, e o tratamento sem lodo e sem adubo mineral obteve uma taxa de germinação de 68,10% e de 12,42% para umidade. Não houve diferença estatística na germinação e na umidade entre as doses de lodo, e o tratamento com adubo mineral e as parcelas que não receberam nenhum tipo de adubação, foram estatisticamente semelhantes.

Os resultados obtidos seguem os dados constatados por Costa et al. (2019) onde os autores observaram que as doses de lodo de esgoto foram melhores para a germinação das sementes de milho do que o uso de esterco, da adubação mineral e do controle, onde adquiriu a taxa de germinação de até 92%.

Tabela 3 - Valores médios da taxa de germinação das sementes de milho e da umidade do solo, 20 dias após a semeadura do milho.

| Tratamentos | Taxa de germinação | Umidade do solo |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| | ----- (%) ----- | ----- |
| 0 t.ha ⁻¹ de lodo | 68,10b | 12,42b |
| Adubação mineral | 69,02b | 12,37b |
| 24 t.ha ⁻¹ de lodo | 90,40a | 19,89a |
| 48 t.ha ⁻¹ de lodo | 90,65a | 20,32a |
| 72 t.ha ⁻¹ de lodo | 91,46a | 20,56a |

Fonte: O Autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

5.2 ANÁLISE DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO

Pelos resultados de macronutrientes e micronutrientes determinados nas folhas de milho e apresentados na Tabela 4, pode-se observar que os teores de fósforo, enxofre, manganês e zinco não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Em relação ao nitrogênio foi possível verificar que as doses de lodo apresentaram variação significativa quando comparadas com o tratamento sem aplicação de lodo, porém não apresentaram diferenças entre as doses de lodo.

O fornecimento de nitrogênio pelo lodo foi semelhante ao do adubo mineral utilizado, enquanto o tratamento sem lodo foi estatisticamente menor, já o potássio no tratamento com proporção de 48t.ha⁻¹ foi superior aos demais, e a proporção de 24t ha⁻¹ e 72t ha⁻¹ foram equivalentes ao do adubo mineral, no cálcio e magnésio o tratamento com 72 t ha⁻¹ e o adubo mineral, foram os tratamentos que sobressaíram aos demais. Já no cobre, os tratamentos com doses de 48t.ha⁻¹, 72 t ha⁻¹ de lodo e o adubo mineral foram os que mais favoreceram esse elemento para as plantas. Não houve diferença estatística entre tratamentos para os elementos fósforo, enxofre, manganês e zinco.

Segundo o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (2022) os teores nutricionais ideais de macronutrientes e micronutrientes nas folhas do milho são: N = 25-35 g.Kg⁻¹; P = 1,9-3,5 g.Kg⁻¹; K= 17-30 g.Kg⁻¹; Ca= 2,5-6,0 g.Kg⁻¹; Mg= 1,5-4,0 g.Kg⁻¹; S= 1,5-3,0 g.Kg⁻¹; B= 7-17 mg.Kg⁻¹; Cu= 6-15 mg.Kg⁻¹; Fe= 70-200 mg.Kg⁻¹; Mn= 40-100 mg.Kg⁻¹; Mo= 0,1-0,2 mg.Kg⁻¹; Zn= 20-50 mg.Kg⁻¹.

Desse modo, ao compararmos com o Boletim 100 os resultados de macronutrientes e micronutrientes ficaram dentro das faixas de teores considerados adequados nas folhas, com exceção do Zn. Em todos os elementos analisados os teores nutricionais dos tratamentos com lodo de malteria foram estatisticamente semelhantes ou superiores à adubação mineral, havendo exceção apenas para o Zn, que apesar de não apresentar diferença estatística entre tratamentos, nas parcelas onde houve aplicação do lodo, seus teores ficaram abaixo da faixa indicada pelo Boletim 100.

Barufi (2023), ao realizar diagnose foliar na cultura do milho após a aplicação do lodo de esgoto (base úmida) em solo do Cerrado, apresentou os teores de macronutrientes e micronutrientes dos tratamentos que utilizaram lodo em: N = 24,6

- 25,7 g.Kg⁻¹; P = 2,5 - 2,6 g.Kg⁻¹; K= 28,8 – 34,6 g.Kg⁻¹; Ca= 4 – 4,7 g.Kg⁻¹; Mg= 4 - 4,2 g.Kg⁻¹; S= 1,4 - 1,5 g.Kg⁻¹; B= 14,6 – 16,6 mg.Kg⁻¹; Cu= 15 – 19,5 mg.Kg⁻¹; Fe= 100,4 – 123,3 mg.Kg⁻¹; Mn= 61,9 – 69,6 mg.Kg⁻¹; e Zn= 38,1 – 41,4 mg.Kg⁻¹. De acordo com a autora o lodo proporcionou bom estado nutricional da cultura, exceto para o nitrogênio, que apesar do teor desse elemento estar abaixo do indicado, não foi expresso nenhum sintoma de deficiência na cultura. Gonçalves et. al (2019) também constatam que nos teores foliares, o uso de lodo de esgoto de até 30 t ha⁻¹ aumentou a proporção do nitrogênio, fósforo, e da matéria seca na cultura do milho.

Tabela 4 - Teores de macronutrientes e micronutrientes determinados em amostras de folhas coletadas nas parcelas com adubação mineral, sem lodo e com doses de lodo biológico.

| Tratamentos | N | P | K | Ca | Mg | S | Cu | Mn | Zn |
|-----------------------|-----------------------------------|------|--------|-------|-------|------------------------------------|------|-------|-------|
| | ----- (g.kg ⁻¹) ----- | | | | | ----- (mg.kg ⁻¹) ----- | | | |
| 0 t.ha ⁻¹ | 26,7b | 3,4a | 19,1c | 4,0b | 2,1b | 2,0a | 7,2b | 39,2a | 22,7a |
| Ad. mineral | 29,0a | 3,2a | 19,8bc | 4,3ab | 2,3ab | 2,0a | 8,0a | 44,2a | 21,7a |
| 24 t.ha ⁻¹ | 29,7a | 3,2a | 19,6bc | 4,1b | 2,2b | 2,1a | 7,5b | 40,0a | 18,2a |
| 48 t.ha ⁻¹ | 30,5a | 3,1a | 21,7a | 4,1b | 2,2b | 2,1a | 9,5a | 47,2a | 18,7a |
| 72 t.ha ⁻¹ | 30,7a | 3,3a | 20,1b | 4,5a | 2,4a | 2,1a | 9,2a | 47,2a | 19,7a |

Fonte: O Autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO

Passados 120 dias da fertilização, foram realizadas análise de solo para identificar as possíveis alterações químicas que os tratamentos proporcionaram na área do experimento, assim, pela Tabela 5 é possível observar as modificações químicas ocasionado pelos tratamentos. O uso do lodo estatisticamente reduziu o pH, o Ca, a soma de bases, e a saturação por bases (V%), também aumentou os teores de P e H + Al⁺³, já a MO, K, Mg e CTC não apresentaram diferença estatística.

O lodo de malteria possui em sua composição um teor de nitrogênio na forma orgânica e que durante a decomposição os microrganismos amonificadores e

nitrificadores transformam o nitrogênio orgânico em formas (NH_3 , NH_4^+ e NO_3^-) mais assimiláveis para serem absorvidos pelas raízes das plantas. Durante estas transformações são liberados íons de H^+ que contribui para a redução do pH do solo (VIERA, 2017).

Em paralelo a redução do pH favorece a solubilização dos cristais que contêm o P fixado, com isso o fósforo é liberado para a solução do solo e absorvido pelas raízes das plantas. Para os nutrientes N, S e P suas formas orgânicas antes de serem absorvidas pelas raízes das plantas precisam ser transformados pelos microorganismos e liberados no solo (SILVA; MORAIS, 2023).

Outra característica da acidez do solo é a disponibilização de alumínio, que por sua vez pode substituir o Ca e conseqüentemente promover a redução do Ca disponível no solo, essa questão do aumento do P e $\text{H} + \text{Al}^{+3}$ é apontado também por Roy et al. (2016) ao destacar o alto poder de fixação que o fósforo possui com oxidróxidos, como o caso do alumínio. Possivelmente o fato do lodo ter alterado o pH foi o que ocasionou as diferenças nos teores de Ca, $\text{H} + \text{Al}^{+3}$, soma de bases (SB) e saturação de bases (V%).

Entretanto, Suszek et al. (2013) obtiveram resultados diferentes ao aplicar doses de composto de lodo da indústria de celulose e papel na cultura da aveia, afirmando que houve aumento do pH, da matéria orgânica, da CTC, da saturação por bases, do P, K e Ca, enquanto o alumínio + hidrogênio diminuíram no solo. Isto ocorreu porque o lodo apresentava em sua composição teores elevados de Ca, Mg e o pH neutro.

Melo et al. (2018), avaliando a aplicação do lodo de esgoto até a proporção de 100 t.ha^{-1} , por 10 anos consecutivos na cultura do milho, constataram que o lodo reduziu o pH do solo, a matéria orgânica, e os teores de K e Mg, mas também elevou a quantidade de P, Ca, $\text{H} + \text{Al}$, da SB e da CTC do solo estudado. Dessa maneira, as respostas adquiridas nos tratamentos com uso do lodo foram semelhantes ao das áreas cultivadas com fertilizantes minerais, onde o lodo se destacou como uma fonte eficiente no fornecimento de P total e N parcial, além de micronutrientes.

Tabela 5 - Características químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, 120 dias após a fertilização com adubação mineral e doses de lodo de esgoto.

| Tratamentos | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H + Al ³⁺ | SB | CTC | V |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | (CaCl ₂) | (g.dm ⁻³) | (mg.dm ⁻³) | ----- (mmolc.dm ⁻³) ----- | | | | | | (%) |
| 0 t.ha ⁻¹ | 5,6a | 14,2a | 25,7c | 3,7a | 29,7a | 14,5a | 20,5b | 47,8a | 68,0a | 70,2a |
| Ad. Mineral | 5,4ab | 13,5a | 26,7b | 3,5a | 28,2b | 13,7a | 23,2b | 45,7a | 68,9a | 65,5ab |
| 24 t.ha ⁻¹ | 5,2abc | 13,5a | 42,0bc | 3,3a | 20,7bc | 10,5a | 29,0ab | 34,57b | 63,5a | 54,5a |
| 48 t.ha ⁻¹ | 5,0bc | 12,7a | 55,0b | 3,1a | 17,7c | 9,2a | 29,7ab | 31,4b | 61,1a | 51,2b |
| 72 t.ha ⁻¹ | 4,9c | 12,5a | 94,0a | 2,8a | 17,7c | 10,7a | 34,0a | 38,8b | 72,a | 51,7b |
| CV | 4,35 | 8,76 | 15,08 | 13,66 | 15,49 | 20,39 | 15,79 | 19,29 | 12,73 | 11,08 |

Fonte: O Autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

5.4 RENDIMENTO DA PRODUÇÃO DO MILHO

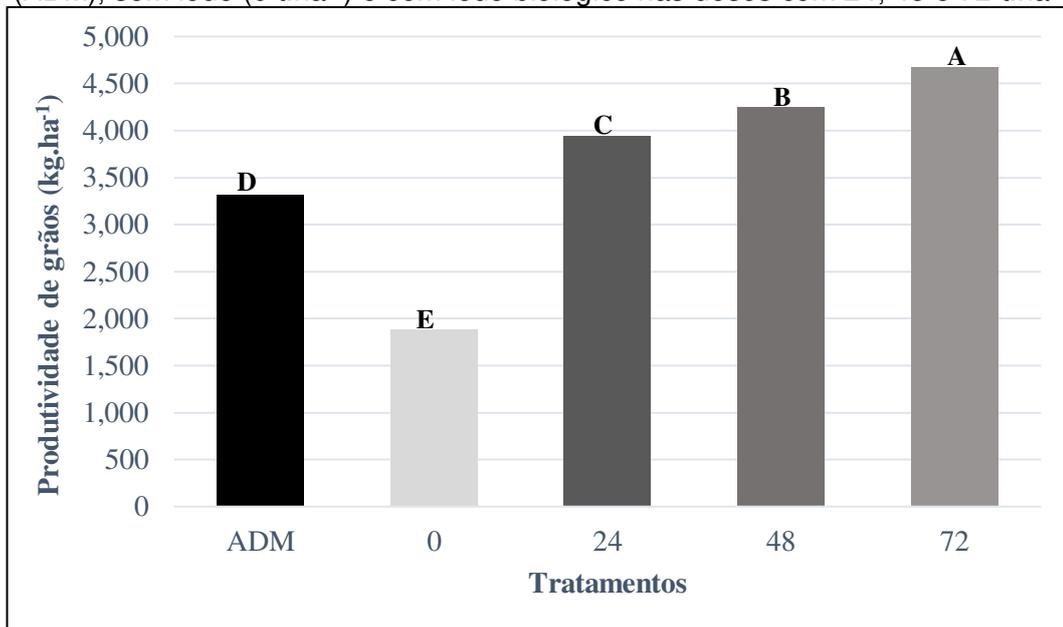
Ao analisarmos a Figuras 6 e 7 é possível observar a diferença nos valores da produção de grãos e no número de espigas por parcelas função dos tratamentos. O lodo de malteria comparado com a adubação mineral e ao tratamento controle, proporcionou aumento na produtividade média dos grãos de milho, sendo até mesmo um aumento progressivo de acordo com a elevação da quantidade de lodo utilizado nas parcelas, onde o tratamento de 72 t.ha⁻¹ obteve o melhor resultado de produtividade com 4,6 t.ha⁻¹, contudo todos os tratamentos com lodo de malteria garantiram produtividade superior ao da adubação mineral convencional (3,3 t.ha⁻¹) e ao tratamento controle (1,9 t.ha⁻¹).

Barufi (2023) obteve resultado semelhante ao trabalhar com o lodo de esgoto (base úmida) na cultura do milho em solo do Cerrado, ao qual adquiriu um aumento gradativo da produtividade da cultura, onde o uso de 12,5 t.ha⁻¹ possibilitou a produtividade de 7,82 t.ha⁻¹, superando até mesmo a produtividade de 7,77 t.ha⁻¹ da adubação convencional. Yada (2014) na 16ª aplicação de lodo de esgoto consecutiva, constatou produtividade no milho de 8,67 t.ha⁻¹ a partir da utilização 5 t.ha⁻¹ do lodo em Latossolo Vermelho Eutrófico, e de 9,49 t.ha⁻¹ em Latossolo Vermelho Distrófico com a mesma proporção de lodo aplicado, enquanto a fertilização mineral proporcionou 7,81 t.ha⁻¹ de produtividade. Silva (2020) obteve produtividade no milho

de 3,52 t.ha⁻¹ com a aplicação de lodo de esgoto, sendo que o lodo sobressaiu aos demais tratamentos de biochar, de adubo mineral e o controle.

Apesar do lodo de malteria exposto aqui nesse projeto ter garantido a produtividade superior ao do tratamento com adubação mineral e a testemunha, a produtividade de 4,6 t.ha⁻¹ na proporção 72 t.ha⁻¹ de lodo aplicado no solo, ficou abaixo da média (5,2 t.ha⁻¹) nacional brasileira (IBGE, 2023).

Figura 6 - Produção de grãos de milho determinadas nas parcelas com adubação mineral (ADM), sem lodo (0 t.ha⁻¹) e com lodo biológico nas doses com 24, 48 e 72 t.ha⁻¹

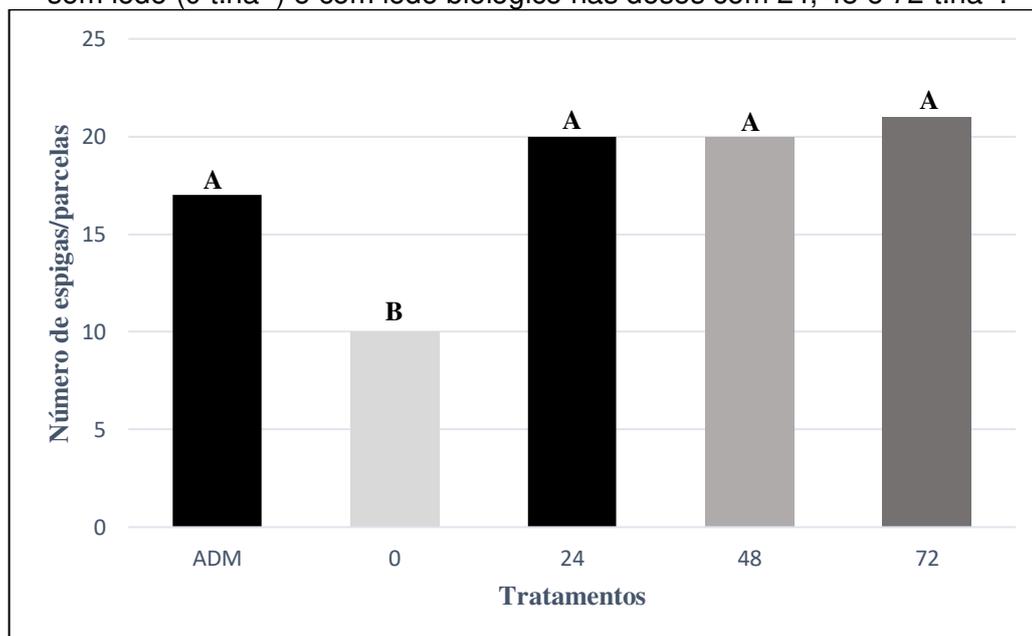


Fonte: O Autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Já referente ao número de espigas produzidos (Figura 7), novamente o lodo se sobressaiu quando comparado aos tratamentos de adubo mineral, e ao tratamento controle. Enquanto o adubo mineral produziu em média 17 espigas por parcela e o controle 10 espigas, as parcelas que receberam adubação de lodo de malteria na proporção 24 t.ha⁻¹ e 48 t.ha⁻¹, tiveram uma produção média de 20 espigas/parcela, sendo que, o melhor desempenho foi adquirido com média de 21 espigas/parcela através do tratamento 72 t.ha⁻¹.

Figura 6 - Número de espigas determinadas nas parcelas com adubação mineral (ADM), sem lodo (0 t.ha⁻¹) e com lodo biológico nas doses com 24, 48 e 72 t.ha⁻¹.



Fonte: O Autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%

6 CONCLUSÃO

O uso do lodo de malteria proporcionou melhor germinação das sementes de milho e maior teor de umidade no solo, também foi capaz de garantir a nutrição das plantas de milho ao longo do desenvolvimento da cultura, mantendo os nutrientes dentro das faixas consideradas ideais.

Houve maior produtividade e maior número de espigas por parcelas para os tratamentos utilizando lodo de malteria na adubação, sendo a máxima de 21 espigas/parcela com a dose de 72 t.ha⁻¹ de lodo, onde aumentou a produtividade da cultura em 21% quando comparado com a adubação mineral, e 58% contraposto ao tratamento controle sem adubação.

Conclui-se também que foi reduzido o impacto ambiental gerado por esse resíduo, sendo que ao invés de ser descartado convencionalmente, gerou-se uma nova função de potencial produtivo na cadeia econômica e ambiental, e, conseqüentemente, reduziu as quantidades de fósforo na adubação da cultura do milho, suprimindo a necessidade nutricional e deixando um excedente de 10Kg do elemento por hectare.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDANA, Carolina Duque; OLIVEIRA, Luciana Camargo de; WALDMAN, Walter Ruggeri. Overview of the valorization of brewery industry by-products. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 926-932, 2021. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/3789/850>. Acesso em: 10 dez. 2023.

ALMEIDA, Aline da Rosa. **Compostos bioativos do bagaço de malte: fenólicos, capacidade antioxidante in vitro e atividade antibacteriana**. 2014, 76 f.

Dissertação (Mestrado), Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/35738/R%20-%20D%20-%20ALINE%20DA%20ROSA%20ALMEIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 ago. 2023.

AMBEV. *Americas' Beverage Company*. **Os principais ingredientes da cerveja, 2019**. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/blog/categoria/cerveja/os-principais-ingredientes-da-cerveja/> Acesso em: 20 julho 2023.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2 a edição, Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa Nº 65**, de 10 de dezembro de 2019. Disponível em: <https://www.fukumaadvogados.com.br/wp-content/uploads/2019/12/IN-65-2019-PIQ-Cerveja.pdf>. Acesso em: 26 agosto de 2023.

BARROS, Jamilly Alves de. **Fertilizante biológico e resíduo orgânico na disponibilização de nutrientes no cultivo de banana e atributos químicos e biológicos do solo**. 2020, 93 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8833>. Acesso em: 13 dez. 2023.

BARROS, Jamilly Alves de. **Fertilizante biológico e resíduo orgânico na disponibilização de nutrientes no cultivo de banana e atributos químicos e biológicos do solo**. 2020, 93 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8833> . Acesso em: 13 dez. 2023.

BARUFI, Marcela Ribeiro. **Efeito residual da aplicação de composto de lodo de esgoto no milho segunda safra em solo de cerrado**. 2023, 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2023.

BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de esgoto no Distrito Federal**: um estudo da sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. 2015, 214 f. Dissertação (Mestrado), Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/PUBLICA%C3%87%C3%83O-PTARH.DM-%E2%80%931682015.pdf>. Acesso em: 25 de out. 2023.

BITTENCOURT, Simone; AISSE, Miguel Mansur; SERRAT, Beatriz Monte. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do paraná, brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 1129-1139, dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jSf4HxFmndFtpHHPkHjnmHP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 7 ago. 2023.

BOZZA, Natália Ganzaroli; MARCHIORI, Luís Fernando Sanglade. utiliza o do lodo de esgoto como adubo na cultura da cana de a ugar. **Bioenergia em Revista: Diálogos** (ISSN: 2236-9171), v. 10, n. 1, 2020. Acesso em: 7 ago. 2023. Disponível: <http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/File/360/pdf>. Acesso em: 7 ago. 2023.

BRADY, Nyle C; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRASIL. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: 26 ago. de 2023.

BREMM, Roseli Regina Rambo; DAMASCENO, Simone Gomes; SECCO, Deonir; VILAS BOAS, Márcio Antonio Vilas; TORRES, Douglas Guedes; MESS, Juliana Bortoli Rodrigues; KUMMER, Larissa. Potencial de uso de lodo de esgoto na cultura do milho em latossolo argiloso no oeste do Paraná. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)**, Rio de Janeiro, n. 23, p. 17–24, 2012. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/328. Acesso em: 12 dez. 2023.

CANTARELLA, Heitor; QUAGGIO, José Antonio; MATOS JÚNIOR, Dirceu; BOARETTO, Rodrigo Marcell; RAIJ, Bernardo Van. (2022). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. (**Boletim Técnico, nº 100**) (3ª ed.). Instituto Agrônômico de Campinas (IAC).

CARDOSO, Paulo Henrique Silveira. **Produção de adubo orgânico a partir do lodo de esgoto cultivado com *Pennisetum purpureum* e *Urochloa brizantha*, na presença e ausência de aeração e compostado**. 2018, 99 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2018,. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-AZYLK8/1/paulo_henrique_silveira_disserta__o.pdf. Acesso em: 8 agosto de 2023.

CERVBRASIL. **Anuário 2016**. São Paulo: CERVBRASIL, 2016. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB>. pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação.** São Paulo: CETESB, 1999. 32p. (Norma Técnica, n.p 4230). Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/P4.230_Aplicacao-de-lodo-de-sistema-de-tratamento-biologico-de-efluentes-liquidaos-sanitarios-em-solo-diretrizes-e-criterios-para-projeto-e-operacao-2a-Edicao-Maio-2021.pdf .Acesso em: 22 agosto de 2023.

CORDEIRO, Luana Gomes; EL-AOUAR, Ânoar Abbas; GUSMÃO, Rennan Pereira. Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 20–22, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1198>. Acesso em: 12 dez. 2023.

COSTA, Tancio Gutier Ailan; CUNHA, Laécio Miranda; IWATA, Bruna de Freitas; COELHO, Juliana Vogado; SANTOS, João Gabriel Pereira dos; CLEMENTINO, Gleide Ellen dos Santos. Avaliação do crescimento de milho (*Zea mays* L.) sobre o efeito de diferentes doses de biossólido em latossolo vermelho-amarelo no cerrado piauiense. **Multi-Science Journal**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1-6, 14 fev. 2019. Disponível: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jSf4HxFmndFtpHHPkHjnmHP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2023.

COSTA, Vanessa L.; MARIA, Isabella C. de; CAMARGO, Otávio A.; GREGO, Célia R.; MELO, Leônidas C. A.. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 287-293, mar. 2014. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/nnJgHpRkrDq5bqhSxCVdPbs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília:** Embrapa-CNPS/Embrapa-SPI, 1999. 412 p. Disponível: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 12 dez. 2023.

FISCH, Gilberto. Caracterização climática e balanço hídrico em Taubaté (SP). **Revista Biociências**, v.1, n. 1, p.81-90, jul-dez, 1995.

FREDDI, Letícia Amadeu. Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. **Revista Científica Anap Brasil**, [S.L.], v. 12, n. 24, p. 50-60, 1 jan. 2019. Disponível em:
https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1982/1889. Acesso em: 30 ago. 2023.

GEREMIAS, Cléber. **Dimensionamento de uma microestação de tratamento de efluentes de uma microcervejaria**. 2017, 52f. Relatório Técnico/Científico (Graduação), Curso de Engenharia Química, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/056be100-61cf-4a2c-8bc5-3907290ab64c/download>. Acesso em: 20 setembro de 2023.

GONÇALVES, Arilson de Aquino; MOREIRA, Carlos Roberto; SOUZA, Gabriela Barreto de Paula; PERES, Dandara Maria; CANZI, Gabrieli Maria. Adubação com lodo de esgoto na cultura do milho. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**,, edição especial, 2019. ISSN 2358-5420. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/535/319>. Acesso em: 18 ago. 2023.

GUIMARÃES, Juliana Caroni Silva; CORDEIRO, Juni; VITORINO, Diego Carlos Ferreira Rosa. Utilização do lodo de esgoto na agricultura: uma análise cienciométrica. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 1-31, 28 maio 2018. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/journal/5606/560659016004/560659016004.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

HAMDI, Helmi; HECHMI, Sarra; KHELIL, Mohamed Naceur; ZOGHLAMI, Inès Rahma; BENZARTI, Saoussen; MOKNI-TLILI, Sonia; HASSEN, Abdennaceur; JEDIDI, Naceur. Repetitive land application of urban sewage sludge: effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. **Catena**,

[S.L.], v. 172, p. 11-20, jan. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816218303394>. Acesso em: 18 ago. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em maio, IBGE prevê safra de 305,4 milhões de toneladas para 2023**. 2023. Estatísticas Econômicas. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/37134-em-maio-ibge-preve-safra-de-305-4-milhoes-de-toneladas-para-2023#:~:text=Frente%20a%202022%2C%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o,\(5%20261kg%2Fha\)](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/37134-em-maio-ibge-preve-safra-de-305-4-milhoes-de-toneladas-para-2023#:~:text=Frente%20a%202022%2C%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o,(5%20261kg%2Fha)). Acesso em: 15 set. 2023.

MELO, Wanderley; DELARICA, Denise; GUEDES, Ana; LAVEZZO, Letícia; DONHA, Riviane; ARAËJO, Ademir de; MELO, Gabriel de; MACEDO, Fernando. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 643, p. 1493-1501, dez. 2018. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718323301>. Acesso em: 15 set. 2023.

MIZUBUTI, Ivone Yurika; RIBEIRO, Edson Luiz de Azambuja; PEREIRA, Elzânia Sales; PEIXOTO, Eduardo Lucas Terra; MOURA, Elizabeth dos Santos; PRADO, Odímári Pricila Pires do; BUMBIERIS JUNIOR, Valter Harry; SILVA, Leandro das Dores Ferreira da; CRUZ, Joyce Maria Cordeiro. Cinética de degradação ruminal de alimentos proteicos pela técnica in vitro de produção de gases. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 555-566, 27 fev. 2014. Disponível em: https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/14345/pdf_257. Acesso em: 8 ago. de 2023.

NACIMENTO, Altina Lacerda; SAMPAIO, Regynaldo Arruda; ZUBA JUNIO, Geraldo Ribeiro; FERNANDES, Luiz Arnaldo; CRUZ, Suely Ferreira; CARNEIRO, João Paulo; BARBOSA, Cristiane Francisca; LIMA, Natália Nunes de. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 1, p. 146–

153, 2014. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15142>. Acesso em: 12 dec. 2023.

OLAJIRE, Abass A.. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 256, p. 102817-102817, maio 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612001369>. Acesso em: 12 dec. 2023.

PEDROZA, Marcelo Mendes; LÔBO, Ranyere Nascimento; VIEIRA, Gláucia Eliza Gama Vieira; SOUSA, João Fernandes de Sousa; SILVA, Fabrício Machado.

Lodo de esgoto doméstico: características físicas, químicas e biológicas.

Multidebates, v. 3, n. 2, p. 206-218, 2019. Disponível em:

<https://revista.faculdadeitop.edu.br/index.php/revista/article/view/173/164>. Acesso em: 12 dec. 2023.

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

ROMEIRO, Júlio César Thoaldo Romeiro; GRASSI, Hélio; MOREIRA, Lais Lorena Queiroz; ROCHA, Maria Regina Viera da; DADAZIO, Tais Santo. Disponibilização de micronutrientes para o cultivo de laranjeiras 'pêra' fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. **Revista AgroFIB**, v. 1, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistas.fibbauru.br/agrofib/article/view/383/344>. Acesso em: 12 dez. 2023.

ROY, Eric D.; RICHARDS, Peter D.; MARTINELLI, Luiz A.; DELLA COLETTA, Luciana; LINS, Silvia Rafaela Machado; VAZQUEZ, Felipe Ferraz; WILLIG, Edwin; SPERA, Stephanie A.; VANWEY, Leah K.; PORDER, Stephen. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [S.L.], v. 2, n. 5, p. 16043-16043, 18 abr. 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nplants201643#citeas>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SILVA, Carlos Alberto; MORAIS Everton Geraldo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Fertilizantes organominerais. In: BETTIOL, Wagner (Brasília).

Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical.

Brasília: Embrapa, 2023. p. 351-381. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153147/entendendo-a-materia-organica-do-solo-em-ambientes-tropical-e-subtropical>. Acesso em: 25 set. 2023.

SILVA, Gabriel Henrique Maximo Clarindo. **Efeito do biochar e do lodo de esgoto nos atributos do solo, estado nutricional e produtividade do milho (*Zea mays* L.)**. 2020, 85 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo),

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em:

<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8829>. Acesso em: 25 set. 2023.

SOUZA, Regilene Angélica da Silva; BISSANI, Carlos Alberto; TEDESCO, Marino José; FONTOURA, Rogério Chimanski da. Extração sequencial de zinco e cobre em solos tratados com lodo de esgoto e composto de lixo. **Química Nova**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 308-314, 2012. Disponível:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/dczrnzwJMGSdrxrXs6srvvL/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 25 set. 2023.

URBAN, Rodrigo Custodio. **Metodologia para Gerenciamento Lodo de ETA e ETE**. 2016, 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia

Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=466133>. Acesso em: 20 set. 2023.

URBAN, Rodrigo Custodio; ISAAC, Ricardo de Lima; MORITA, Dione Mari. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto:

estado da arte. **Revista Dae**, [S.L.], v. 67, n. 219, p. 128-158, 2019. Disponível em:

http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_219_n_1808.pdf. Acesso em: 20 set. 2023.

VERRESCHI, Isabela Chaves. **Estudo sobre a qualidade da água tratada de uma cervejaria visando melhoria da eficiência do processo**. 2018, 37 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Escola de Engenharia de Lorena, USP, Lorena, 2018. Disponível em:

<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2018/MEQ18068.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

YADA, Marcela Midori **Metais pesados, atributos químicos e bioquímicos em latossolos e plantas de milho após aplicação de lodo de esgoto por dezesseis anos consecutivos**. 2014, 99f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/121929>. Acesso em: 15 ago. 2023.