

Aplicação de biossólido de ETE na produção de girassol como recuperação sustentável de recursos

Application of WWTP biosolids in sunflower production for sustainable resource recovery

Maria Eduarda Ribeiro¹, Ana Elisa Carvalho Silva Santos², Lucas de Almeida Chamhum Silva³, Gabriel Henrique Soares Almeida⁴, Glaucio Marcelino Marques⁵, Eduardo de Aguiar do Couto⁶

RESUMO: Este trabalho avaliou o uso de biossólido de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) como fertilizante para girassóis (*Helianthus annuus L.*). O lodo, oriundo do reator UASB e coletado na unidade de desidratação da ETE Laboreaux em Itabira-MG, foi higienizado por estabilização alcalina. O experimento, conduzido na Universidade Federal de Itajubá, campus Itabira, analisou quatro condições: controle (sem fertilizante), fertilizante comercial, biossólido conforme a demanda de nitrogênio e conforme a correção da acidez do solo. A estabilização produziu biossólido com 20% de sólidos voláteis. Além disso, a concentração de *Escherichia coli* foi de $2,49 \times 10^4$ NMP g⁻¹, o que permite a classificação do biossólido como Classe B, conforme a Resolução CONAMA nº 498/2020. Durante os 49 dias de cultivo, os tratamentos com biossólido atingiram um máximo de 12 folhas e 19,6 cm de altura, enquanto os tratamentos controle e com fertilizante comercial apresentaram máximos de 9 e 10 folhas, e 19 e 16,1 cm de altura, respectivamente. No entanto, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. O uso de biossólido pode ser uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos de ETES, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; Fertilizante; Gestão de resíduos; Lodo de esgoto.

ABSTRACT: This study evaluated the use of biosolids from a Wastewater Treatment Plant (WWTP) as fertilizer for sunflowers (*Helianthus annuus L.*). The sludge, sourced from the UASB reactor and collected at the dehydration unit of the Laboreaux WWTP in Itabira-MG, was sanitized through alkaline stabilization. The experiment at the Federal University of Itajubá, Itabira campus analyzed four conditions: control (no fertilizer), commercial fertilizer, biosolids according to nitrogen demand, and soil acidity correction. The stabilization produced biosolids with 20% volatile solids. Furthermore, the concentration of *Escherichia coli* was 2.49×10^4 NMP g⁻¹, which allows the classification of biosolids as Class B, according to CONAMA Resolution No. 498/2020. During the 49-day cultivation period, the sludge treatments achieved a maximum of 12 leaves and 19.6 cm in height, while the control and commercial fertilizer treatments reached maximums of 9 and 10 leaves and 19 and 16.1 cm in height, respectively. However, no statistically significant difference was observed between the treatments. Biosolids can be a sustainable alternative for WWTP waste management, reducing dependence on chemical fertilizers and promoting more sustainable agriculture.

Keywords: Fertilizer; Sewage sludge; Sustainable agriculture; Waste management.

Autor correspondente: Maria Eduarda Ribeiro
E-mail: mariaeduardaribeiro9012@gmail.com

Recebido em: 03/07/2024
Aceito em: 09/12/2024

¹ Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itabira (MG), Brasil.

² Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itabira (MG), Brasil.

³ Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto (MG), Brasil.

⁴ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG), Brasil.

⁵ Doutor em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Docente do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Itajubá, Itabira (MG), Brasil.

⁶ Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Docente Adjunto da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras (MG), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) desempenham um papel fundamental na mitigação dos impactos na saúde pública e no meio ambiente, atuando como unidades de processamento onde o esgoto bruto coletado é transformado em esgoto tratado. No entanto, esse processo gera subprodutos, incluindo biogás, efluentes tratados e, notavelmente, lodo de esgoto (LE). Diante disso, com a operação das ETEs, tem-se um novo problema ambiental: a gestão e disposição final ambientalmente adequada desse lodo de esgoto.

Segundo Bringhenti *et al.* (2018), no Brasil, o lodo é normalmente encaminhado para o aterro sanitário, em um processo chamado de codisposição. Esse tipo de disposição reduz o tempo de vida útil dos aterros devido ao maior volume ocupado, além de agravar os aspectos ambientais, como o aumento da geração de gases e incremento da geração de lixiviado.

Ainda, devido ao crescimento populacional seguido pelo aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), a destinação apropriada do LE torna-se crucial para evitar potenciais danos ambientais, como a contaminação do solo e da água (Afáz *et al.*, 2017). A elevada taxa de geração desse resíduo, que pode chegar a 185 mil toneladas por ano no Brasil (Moreira *et al.* 2019), e suas características, como a presença de matéria orgânica e nutrientes, salientam seu potencial de aproveitamento.

A crescente demanda por alimentos, combinada com preocupações ambientais globais, tem impulsionado a busca por métodos agrícolas mais sustentáveis. Diante disso, quando é devidamente tratado, o lodo de esgoto recebe o nome de bio sólido e adquire características que permitem sua utilização na agricultura (Araújo *et al.*, 2022). Esse material é de natureza predominantemente orgânica, podendo diminuir a necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, este último um recurso não renovável (Rehman *et al.*, 2018). Somado a isso, o bio sólido também pode ser utilizado na recuperação de áreas degradadas (Guimarães *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o uso de resíduos orgânicos como biofertilizantes tem atraído a atenção da comunidade científica e agrícola (Lins; Lima, 2022). O lodo de ETEs surge como um biofertilizante em potencial, proporcionando uma solução para o manejo responsável de resíduos urbanos e promovendo a fertilidade do solo (Barufi, 2023). Quando misturado com fertilizantes minerais, esse lodo de esgoto se transforma em uma fonte preciosa de nutrição para diversas culturas agrícolas, incluindo milho, soja e girassol (Barcelos, 2019).

A produção e aplicação de bio sólidos em solos tem critérios definidos no Brasil de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 498/2020. O bio sólido pode ser definido como o lodo de esgoto que possui por processo de tratamento ou beneficiamento e apresenta características adequadas para a aplicação no solo, seja para a agricultura ou para recuperação de áreas degradadas (Brasil, 2020). O estabelecimento de critérios para a produção e aplicação de bio sólidos em nível nacional representa um passo importante na direção da ampliação da prática.

No que diz respeito ao uso agrícola, o girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura fundamental devido a sua qualidade e quantidade, uma vez que possui uma boa classificação entre as culturas de sementes oleaginosas, além de ter uma maior facilidade em se adaptar em estação quente e ser tolerante à seca, se adaptando a condições de temperatura e umidade elevadas (Ahmad *et al.*, 2016).

Neste contexto, este trabalho propõe-se a avaliar o uso do bio sólido como fertilizante no cultivo de girassol, como uma alternativa para a recuperação do lodo gerado em uma ETE, com uma atenção especial à avaliação de seus efeitos sobre a produtividade e a qualidade das culturas de girassol. Examinando as características do bio sólido quanto a parâmetros químicos e microbiológicos, incluindo *Escherichia coli* e ovos de helmintos. Além disso, determinar o melhor desempenho dos tratamentos avaliados para o cultivo por meio de medições precisas de altura e número de folhas ao longo do período de crescimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado de setembro de 2023 a junho de 2024 na Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, em Minas Gerais (19°40'25"S, 43°12'45"W). O município de Itabira tem temperatura média mensal entre 15,7 °C e 22,3 °C, sendo fevereiro o mês mais quente e julho o mais frio, e a precipitação anual média é de 1.494 mm (Silva; Garcia; Reis, 2009).

O lodo utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Laboreaux, em Itabira, que possui unidades de tratamento preliminar, reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA) (em inglês, *upflow anaerobic aludge blanket* – UASB), filtros biológicos percoladores (FBP) e decantadores secundários (DS).

O bio sólido foi armazenado e tratado na Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) na Fazenda São Lourenço (19°42'24"S, 43°11'59"W), zona rural de Itabira. As análises físicas ocorreram no laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - Campus de Itabira-MG, e as análises químicas no Centro de Inovação e Tecnologia - CIT/SENAI.

2.2 PRODUÇÃO DE BIOSSÓLIDO

O estudo utilizou lodo proveniente do reator UASB, com amostras coletadas após o processo de desidratação do leito de secagem da ETE Laboreaux. O bio sólido foi fornecido pelo projeto Bio sólido Itabira. Este projeto foi realizado em parceria com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira (SAAE), a Secretaria Municipal de Agricultura, o Centro de Referência em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (CR ETES) e a UNIFEI - Campus de Itabira-MG.

A higienização do lodo anaeróbio foi realizada por estabilização alcalina na Fazenda São Lourenço, usando 25% de cal hidratada em relação aos sólidos totais do lodo, homogeneizados em uma betoneira de 400 litros. O lodo foi transportado em caçambas de 4 m³ ao longo de janeiro, com quatro caçambas enviadas semanalmente. No pátio, o lodo foi misturado com cal e deixado em repouso, formando uma única pilha após a chegada de todas as caçambas. Este lote foi monitorado por quatro meses com análises de

sólidos totais (gravimetria, 24 horas a 105 °C) e de sólidos fixos e voláteis (mufla, 1 hora a 550 °C) conforme Matos (2015). O pH foi analisado segundo Andrade e Abreu (2006).

Além das análises mencionadas, o bio sólido foi enviado para análise microbiológica no Laboratório de microbiologia do Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente, onde os ensaios para determinação de *Escherichia coli* foram realizados de acordo com a metodologia estabelecida no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2023), e contagem de ovos de helmintos conforme método de Bailenger modificado por Ayres e Mara (1996).

A Resolução CONAMA nº 498/2020 distingue duas classes de bio sólido em relação à qualidade microbiológica. Bio sólidos Classe A possuem até 10^5 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais. Já bio sólidos Classe B apresentam até 10^6 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (Brasil, 2020). Bio sólido Classe B possui a utilização mais restrita que a classe A e pode ser utilizado em pastagens, no cultivo de produtos não alimentícios ou produtos alimentícios que não sejam consumidos crus (Brasil, 2020). Adicionalmente, são definidas as Classes 1 e 2, referentes à limites máximos para substâncias químicas potencialmente tóxicas. Com isso, os bio sólidos são classificados como A1, A2, B1 ou B2, com exigências distintas para aplicação em solos.

2.3 CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO BIO SÓLIDO

Para a aplicação do bio sólido, foram realizadas análises para avaliar seu potencial agrícola. Uma amostra representativa do material foi coletada e encaminhada ao Laboratório de Análise de Fertilizantes, Corretivos e Subprodutos do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ-USP, em São Paulo.

As análises de pH, densidade, umidade (65 °C, 110 °C e total), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram realizadas conforme o método do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017). As análises de matéria orgânica total, carbono orgânico por combustão, relação matéria inorgânica (RMI), relação matéria orgânica (RM) e relação matéria orgânica total (RMT) seguiram o método da Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ, 2009). Para a análise de metais, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Traços Metálicos do Instituto SENAI de Tecnologia em Química, em Belo Horizonte, utilizando a metodologia da *United States Environmental Protection Agency* – USEPA (2007).

Crítérios para aplicação de bio sólido: Para o desenvolvimento do trabalho, foram coletadas informações sobre a disposição de bio sólido em solo agrícola, tanto seus aspectos nutricionais, quanto suas restrições. Para tanto, utilizou-se os critérios da 5ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), e da Resolução CONAMA nº 498/2020 (Brasil, 2020), que estabelece critérios e procedimentos para a produção e uso de bio sólidos em solos. A mesma resolução, classifica os bio sólidos em duas categorias microbiológicas, Classe A e Classe B, e fornece orientações sobre o uso e restrições dos bio sólidos. Foram avaliados os critérios referentes à demanda de nitrogênio da cultura e à correção de acidez do solo, conforme a seguir:

Crítério I - Demanda de nitrogênio: Para esse critério, a dose aplicada não deve exceder a divisão entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura e o conteúdo

de nitrogênio disponível no bio sólido (Brasil, 2020). A recomendação da quantidade de nitrogênio baseia-se na orientação agrônômica oficial do Estado de Minas Gerais. Na Equação 1 está representada a relação entre as doses de aplicação e a quantidade de nitrogênio no bio sólido, e a Equação 2 o nitrogênio disponível no bio sólido.

$$\text{Dose de aplicação (tST ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Nrec (kg/ha)}}{\text{Ndisp (kg/t)}} \quad (1)$$

$$\text{Ndis} = \left(\frac{\text{FM}}{100}\right) \times \{\text{Nt} - (\text{NH}_3 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2)\} + 0,5 \times [(\text{NH}_3) + (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)] \text{ ou}$$

$$\text{Ndis} = \left(\frac{\text{FM}}{100}\right) \times (\text{NTK} - \text{NH}_3) + 0,5 \times [(\text{NH}_3) + (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)] \quad (2)$$

Em que Nrec é a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura do girassol (20 kg ha⁻¹) (Castro; Oliveira, 2005); Ndisp é o nitrogênio disponível no bio sólido (kg t⁻¹); FM é a fração de mineralização do nitrogênio, sendo considerada igual a 30% (CETESB, 1999); NTK é o nitrogênio total Kjeldahl (g kg⁻¹); NH₃ é o nitrogênio amoniacal (g kg⁻¹); NO₃ é o nitrato (g kg⁻¹); NO₂ é o nitrito (g kg⁻¹); e Nt é o nitrogênio total (g kg⁻¹).

Na caracterização do bio sólido, o nitrogênio disponível no bio sólido foi estimado apenas a partir do nitrogênio total, e as concentrações de NH₃, NO₃⁻ e NO₂⁻ foram consideradas como nulas.

Critério II - Correção de acidez do solo: Para a utilização desse critério, a dose de aplicação do bio sólido tratado por processo alcalino não deve ultrapassar o quociente entre a necessidade de correção de acidez do solo da área em que o bio sólido será aplicado e o poder relativo de neutralização total ou poder de neutralização do bio sólido (Brasil, 2020). A Equação 3 representa a relação entre as doses de aplicação, a necessidade de correção de acidez do solo (NC) e o poder relativo de neutralização total (PNRT), e a Equação 4, a determinação da NC.

$$\text{Dose de aplicação (t ST ha}^{-1}\text{)} = \frac{[(\text{NC} \times 100)]}{\text{PN ou PNRT}} \quad (3)$$

$$\text{NC} = \text{CTC} \times \left(\frac{\text{Ve} - \text{Va}}{100}\right) \quad (4)$$

Na Equação 3, NC é a necessidade de correção de acidez de solo, calculada segundo a recomendação agrônômica oficial do Estado de Minas Gerais; PN é o poder de neutralização do bio sólido, sendo considerado 20,10% (MAPA, 2017); e PNRT é o poder relativo de neutralização total do bio sólido, equivalente a 14,18% (MAPA, 2017). Na Equação 4, Ve é a saturação de bases esperada do solo para a cultura do girassol, sendo considerada em 60% (CFSEMG, 1999); Va é a saturação de bases atual do solo, sendo considerada em 52% (Raij *et al.*, 2001); CTC é a capacidade de troca de cátions, equivalente a 6,8 cmol dm⁻³ (Raij *et al.*, 2001).

2.4 PREPARAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento consistiu no cultivo do girassol (*Helianthus annuus*) em parcelas de solo contidas em vasos dispostos em uma área específica do campus. O solo utilizado para o cultivo dos girassóis em cada amostra foi Latossolo Vermelho Amarelo retirado da Fazenda São Lourenço, suas características são apresentadas na Tabela 1.

A dose calculada de bio sólido no critério I, de acordo com a demanda de nitrogênio, foi de 1,68 x 10⁻⁵ tST ha⁻¹, enquanto a dose do critério II, de acordo com a correção de acidez

do solo, foi de $1,06 \times 10^{-5}$ tST ha⁻¹. O fertilizante comercial usado foi o NPK 10-10-10. A dose indicada pelo fabricante foi de 5 g para cada 1,0 L de substrato utilizado. Como os vasos utilizados no estudo possuíam 5,5 L, foi aplicado 27,5 g do fertilizante comercial.

Tabela 1. Caracterização química do solo

Parâmetros	Unidade	Solo inicial (0 a 20 cm)
Fertilidade		
pH CaCl ₂	-	4,79
MO colorimétrica	g dm ⁻³	20,5
Fósforo resina	mg dm ³	14,9
Cálcio KCl 1 mol L ⁻¹	mmolc dm ⁻³	26,7
Magnésio KCl 1 mol L ⁻¹	mmolc dm ⁻³	6,3
Potássio resina	mmolc dm ⁻³	2,69
Alumínio trocável	mmolc dm ⁻³	1
H + Al	mmolc dm ⁻³	33,1
SB	mmolc dm ⁻³	35,7
CTC	mmolc dm ⁻³	68,8
V	%	52
m	%	3
Metais		
Alumínio (Al)	%	6,54
Arsênio (As)	mg L ⁻¹	0,61625
Bário (Ba)	mg L ⁻¹	49,938
Boro (B)	mg L ⁻¹	<7,0
Cádmio (Cd)	mg L ⁻¹	2,35
Chumbo (Pb)	mg L ⁻¹	<10,0
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	3,31
Cobalto (Co)	mg L ⁻¹	22,71
Cromo (Cr)	mg L ⁻¹	34,87
Ferro (Fe)	%	2,51
Manganês (Mn)	%	0,01362
Mercúrio (Hg)	mg L ⁻¹	0,054
Molibdênio (Mo)	mg L ⁻¹	<5,0
Níquel (Ni)	mg L ⁻¹	13,32
Prata (Ag)	mg L ⁻¹	<0,5
Selênio (Se)	mg L ⁻¹	<30
Sódio (Na)	mg L ⁻¹	100,538
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	40,81

MO: Matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio.

Três sementes de girassol anão (*Helianthus Annus*) foram semeadas em vasos individuais de capacidade 5,5 L, com altura de 20 cm e diâmetro de 23 cm, a uma profundidade de aproximadamente 3 centímetros. Quatro tratamentos distintos realizados em triplicata foram aplicados: branco (VB), fertilizante comercial (VF), bio sólido na quantidade determinada pelo Critério I (VN) (16,8 g) e bio sólido na quantidade determinada pelo Critério II (VC) (10,6 g).

Todas as amostras receberam uma camada de brita no fundo do vaso, que em seguida foram posicionados em uma área que recebe luz solar constante durante o período da manhã e da tarde, proporcionando condições ideais para o crescimento das plantas, e

além disso, foram regados três vezes por semana. O crescimento das plantas de girassol foi monitorado ao longo do período de pesquisa, registrando métricas como altura da planta e número de folhas. As médias dos tratamentos ao final do período de monitoramento foram comparadas por teste estatísticos por meio da linguagem computacional "R", versão 4.3.1. Os dados tiveram a normalidade testada por meio do teste de Shapiro-Wilk e a comparação entre as médias foi realizada por análise de variância (ANOVA) e Test T de Tukey com um nível de significância de 5%.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO LODO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para as características físico-químicas do bio sólido. A concentração de nitrogênio total de 1,1%. Segundo Lobo e Grassi Filho (2007), o nitrogênio do lodo de esgoto pode substituir o da adubação mineral, resultando em aumento na produtividade de girassol, rendimento de óleo e matéria seca. Assim, o nitrogênio é essencial para o crescimento das plantas e um indicador crucial da qualidade do bio sólido como fertilizante agrícola.

Tabela 2. Caracterização físico-química do bio sólido

Parâmetros	Unidade	Resultado
Densidade	g cm ⁻³	0,77
Umidade 65 °C	%	20,07
Umidade 110 °C	%	3,35
Umidade total	%	23,42
Matéria orgânica (MO)	%	28,44
Carbono orgânico (CO)	%	15,8
Resíduo mineral insolúvel (RMI)	%	37,23
Resíduo mineral (RM)	%	30,29
Resíduo mineral total (RMT)	%	67,52
Nitrogênio total (Nt)	%	1,1
Fósforo total (P ₂ O ₅)	%	1,06
Potássio total (K ₂ O)	%	0,1
Cálcio total (Ca)	%	11,72
Magnésio total (Mg)	%	0,2
Enxofre total (SO ₄)	%	1,4
Relação carbono/nitrogênio (C/N)	-	11
Peneira 10 T.Mesh (2.000 mm)	%	85,55
Peneira 20 T.Mesh (0,840 mm)	%	74,33
Peneira 50 T.Mesch (0,29 7mm)	%	59,33
Fundo	%	59,33
Reatividade (RE)	%	70,57
Óxido de cálcio (CaO)	%	13,33
Óxido de magnésio (MgO)	%	0,16
Soma de óxidos	%	13,49
Poder de neutralização (PN)	%	20,1
Poder relativo de neutralização total (PRNT)	%	14,18
Sílica + Insolúveis	%	39,9

Os resultados deste estudo são semelhantes aos encontrados por Nascimento *et al.* (2017), que analisaram bioossólido de esgoto tratado por um reator UASB e processo de alcalinização, encontrando 0,83% de nitrogênio, próximo ao valor deste estudo (1,1%). A quantidade adequada de nitrogênio é crucial para evitar deficiências nutricionais nas culturas e garantir seu crescimento e produtividade.

No entanto, o excesso de nitrogênio no bioossólido pode contribuir para o escoamento superficial de nutrientes para corpos d'água durante chuvas, especialmente em solos compactados ou com pouca cobertura vegetal (Guimarães *et al.*, 2020).

O bioossólido analisado possui 1,06% de fósforo, valor superior ao encontrado por Nascimento *et al.* (2017), que foi de 0,66%. A concentração de P e outros macronutrientes no bioossólido é dependente da característica do esgoto e do processo de tratamento de esgoto e do lodo. Alguns desses nutrientes podem estar em baixas concentrações no solo ou indisponíveis para as plantas, necessitando de complementação (Bittencourt *et al.* 2021).

Embora não haja limites estabelecidos para o fósforo na Resolução CONAMA nº 498/2020, esse nutriente é crucial para o crescimento das plantas, especialmente nas fases iniciais. Segundo Abreu *et al.* (2019), uma parte significativa do fósforo no bioossólido está rapidamente disponível para as plantas nos primeiros meses do ciclo de produção, sendo essencial para os processos metabólicos e formação do sistema radicular das plantas.

PRODUÇÃO DO BIOSSÓLIDO

Após o tratamento utilizando cal, o bioossólido apresentou concentração de $2,49 \times 10^4$ *E. coli* gST e 0 para contagem de ovos de helmintos, sendo classificado como Classe B, e assim podendo ser utilizado em cultivo de produtos não alimentícios, como o girassol. Além disso, este tipo de bioossólido pode ser aplicado, considerando-se algumas restrições, como um período mínimo de dois meses entre sua última aplicação e o início do pastejo, e de quatro meses entre sua última aplicação e o período de colheita de forrageiras, produtos não alimentícios e produtos alimentícios que não são consumidos crus.

Para a aplicação do bioossólido na agricultura, é crucial considerar as concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas e suas cargas cumulativas no solo. Elementos como Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn e As são preocupantes devido ao potencial de toxicidade e acumulação nas partes comestíveis das plantas, afetando a cadeia alimentar (Oliveira, 2022).

Na Tabela 3 são apresentadas as concentrações de substâncias químicas inorgânicas encontradas no bioossólido.

O bioossólido analisado alcançou parâmetros aceitáveis para sua composição química (Tabela 3), exigidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, se enquadrando como Classe 1, e, portanto, sendo considerado adequado para o uso agrícola, uma vez que, os valores encontrados no bioossólido são inferiores aos valores máximos permitidos.

Tabela 3. Substâncias químicas inorgânicas no bioossólido utilizado na pesquisa e valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020 para Classe 1

Parâmetro	Unidade	Resultado (média ± desvio padrão)	Resolução CONAMA nº 498/2020 - Valor máximo permitido (VMP) para bioossólido Classe I
Alumínio (Al)	mg kg ⁻¹	19913 ± 193	-
Arsênio (As)	mg kg ⁻¹	0,73857 ± 0,00010	41
Bário (Ba)	mg kg ⁻¹	167,3 ± 3,6	1.300
Boro (B)	mg kg ⁻¹	317,6 ± 3,5	-
Cádmio (Cd)	mg kg ⁻¹	4,12 ± 0,62	39
Chumbo (Pb)	mg kg ⁻¹	35,9 ± 2,5	300
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	168,3 ± 3,6	1.500
Cobalto (Co)	mg kg ⁻¹	6,2 ± 1,9	-
Cromo (Cr)	mg kg ⁻¹	47 ± 2,2	1.000
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	46336 ± 779	-
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	190 ± 10	-
Mercúrio (Hg)	mg kg ⁻¹	0,148 ± 0,026	17
Molibdênio (Mo)	mg kg ⁻¹	9,7 ± 3,1	50
Níquel (Ni)	mg kg ⁻¹	17,6 ± 2,1	420
Prata (Ag)	mg kg ⁻¹	0,93 ± 0,56	-
Selênio (Se)	mg kg ⁻¹	<30 ± 1,2E+00	36
Sódio (Na)	mg kg ⁻¹	171 ± 10	-
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	683 ± 6,7	2.800

Os teores de substâncias químicas inorgânicas no bioossólido estão abaixo dos valores máximos permitidos para a Classe 1, conforme a Resolução CONAMA nº 498/2020. É crucial analisar esses contaminantes, especialmente em aplicações sucessivas. Resultados semelhantes foram encontrados por Amorim *et al.* (2021) para bário, níquel e chumbo, sendo que o teor de chumbo neste estudo, embora superior, ainda está dentro dos limites permitidos.

Os micronutrientes, como ferro, manganês, boro, zinco, cobre, molibdênio e níquel, são essenciais para os processos metabólicos e fisiológicos das plantas. O zinco, por exemplo, é crucial para o crescimento saudável, mas pode ser tóxico em altas concentrações. O valor de Zn encontrado (Tabela 3) foi de 683,0 mg kg⁻¹, atendendo à legislação e sendo menor que o valor encontrado por Amorim *et al.* (2021). Para a Classe 1, não há restrições para o uso de bioossólidos, mas é importante monitorar essas substâncias.

Na Figura 1 são apresentadas as variações de sólidos voláteis (SV%), sólidos fixos (SF%), umidade (UMI%) e sólidos totais (ST%) no bioossólido ao longo do período de monitoramento.

Houve aumento nos sólidos totais (ST%) indicando uma redução da água no lodo e resultando em um material mais concentrado em sólidos. A diminuição da umidade ao longo do tempo confirma a eficiência do processo de desidratação e maturação. Bioossólidos com menor umidade são mais benéficos, menos propensos a problemas de odor e mais adequados para aplicação agrícola devido à maior concentração de nutrientes e facilidade de aplicação (Cabreira *et al.*, 2017).

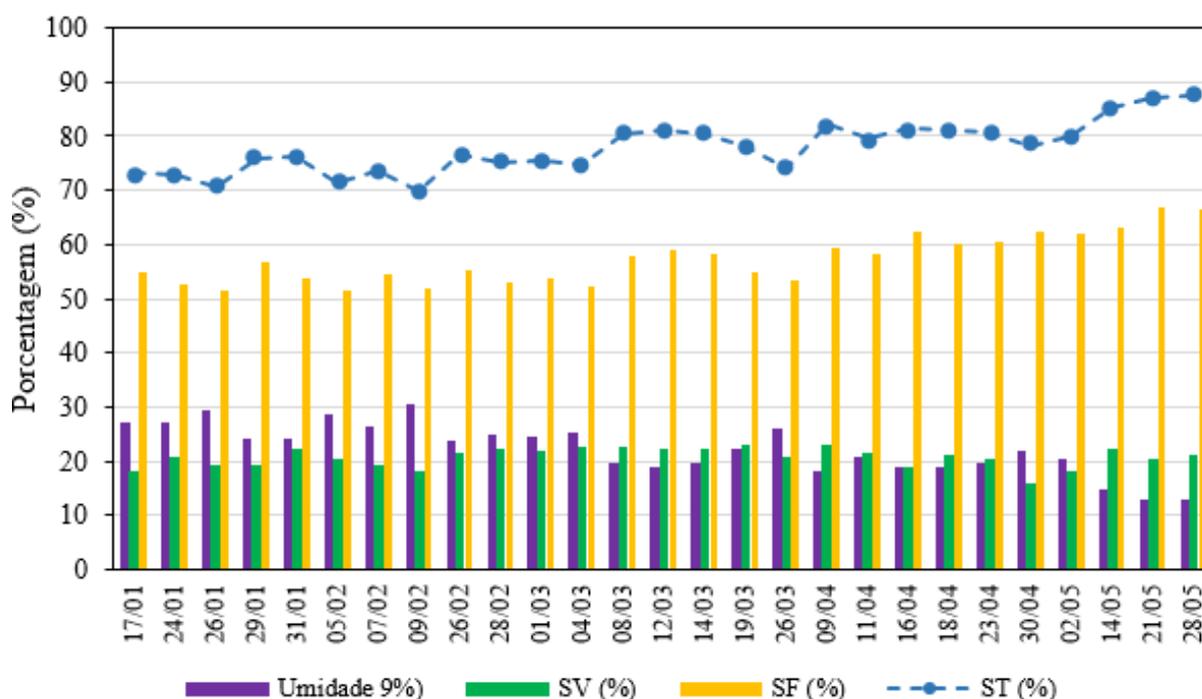


Figura 1. Variações das concentrações de umidade, sólidos voláteis, sólidos fixos, sólidos totais no biossólido ao longo do monitoramento

Para atender ao critério de redução da atratividade de vetores, a Resolução CONAMA nº 498/2020 estabelece que o lodo de esgoto deve apresentar um índice de estabilidade, representado pelos sólidos voláteis inferior a 65% para ser considerado estabilizado e, consequentemente, definido como biossólido. Pode-se observar na Figura 1 que ao longo do monitoramento, a concentração de sólidos voláteis se manteve abaixo de 65%, indicando que o lodo está estabilizado e pode ser considerado como biossólido. Este comportamento está em conformidade com a exigência da Resolução CONAMA nº 498/2020.

Observa-se também que a umidade mostra variações ao longo do tempo, com uma média de 22%, apresentando valor máximo e mínimo de 12% e 30% respectivamente. As concentrações de sólidos voláteis e sólidos fixos também mostram variações, com valores máximo de 22% e 66% e valor mínimo de 15% e 51% respectivamente, e mantêm uma média de 20% e 56% ao longo do período de 160 dias.

A estabilização alcalina ou caleação, pode ser usada para reciclagem agrícola (Costa *et al.*, 2018). Segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020, o pH do biossólido classe B deve ser mantido acima de 12 por 2 horas, ou por um período prolongado.

Inicialmente, os valores de pH mantiveram-se consistentemente acima de 12. No dia 09/02 (oitavo dia de plantio), a adição de novas cargas de lodo, que era misturado com cal na pilha de biossólido, foi interrompida. Diante disso, observa-se uma queda acentuada nos valores de pH, que se estabilizam em valores acima de 8, permanecendo nessa faixa por 75 dias, até o período final das análises. Além da interrupção da adição de cargas de lodo misturados com cal, a queda do pH pode ser justificada pela ação de microrganismos existentes no biossólido, que continuam a decompor a matéria orgânica, produzindo ácidos promovem a redução do pH (Prosab, 1999).

ANÁLISE DO PLANTIO

Sementes germinadas: As sementes foram plantadas no dia 3/05 (dia 0) como apresentado na Figura 2 e todo o crescimento do girassol foi analisado durante 49 dias (dia 48) (Figura 3). Observou-se que as primeiras sementes germinaram em oito dias, com o crescimento de pelo menos uma semente em cada vaso em todos os tratamentos, exceto no tratamento utilizando fertilizante (VF). Diante disso, esse tratamento não apresentou repetição experimental, e, portanto, não participou do teste de média. Os dados dos tratamentos VB, VN e VC seguiram distribuição normal a partir do teste de Shapiro-Wilk, para 5% de significância. O p-valor foi de 0,4097, 0,3290 e 0,2939, para VB, VN e VC, respectivamente, para os dados de contagem de folhas. Para os dados de altura da planta, o p-valor foi de 0,6430, 0,3885 e 0,9276, para os tratamentos VB, VN e VC, respectivamente.

No tratamento em branco (VB), a germinação ocorreu com 100% de sucesso em duas repetições e 66% em outra. No tratamento com fertilizante (VF), a germinação ocorreu em 66% em uma das repetições, enquanto nas outras duas repetições não houve germinação em nenhum vaso. Nos tratamentos com biofósforo, o VN não houve germinação de 100% em nenhuma das repetições, 66% em uma e 33% em duas. Já no tratamento VC houve germinação de 100% em uma das repetições e 66% nas duas demais.

Na Figura 2, apresenta-se os progressos dos plantios do dia 0 até o dia 48, com as seguintes fileiras representando os tratamentos: controle (branco), fertilizante químico, Critério II (cal), e Critério I (nitrogênio), de cima para baixo, respectivamente.

Após 31 dias do primeiro plantio, um novo semeio foi realizado nos vasos onde não ocorreu germinação inicial. Oito dias após o replantio, observou-se germinação nas bordas dos vasos (Figura 2a, segunda fileira). Isso sugere que a falta de germinação anteriormente não se deveu à composição do solo, mas possivelmente à baixa capacidade germinativa das sementes do primeiro plantio. Portanto, esses dados não foram utilizados para comparação devido ao plantio em dias diferentes, o que invalida uma análise comparativa precisa entre os tratamentos.



Figura 2. Progresso dos plantios de sementes de girassol: (a) dia 0 do plantio; (b) dia 48 do plantio

Quantidade de folhas: Durante os 49 dias de observação do crescimento do girassol, foi monitorada semanalmente a quantidade de folhas em cada planta para

analisar seu desenvolvimento vegetativo. Inicialmente, as mudas apresentaram poucas folhas, indicando um estágio inicial de crescimento. Com o passar do tempo, houve um aumento gradual no número de folhas em cada planta, o que é indicativo de crescimento saudável. Esse acompanhamento foi essencial para avaliar o progresso do crescimento e detectar possíveis anomalias que poderiam afetar as plantas. Na Figura 3 é apresentado o crescimento médio do número de folhas em vasos de girassol ao longo de 48 dias, considerando as sementes e repetições de cada tratamento.

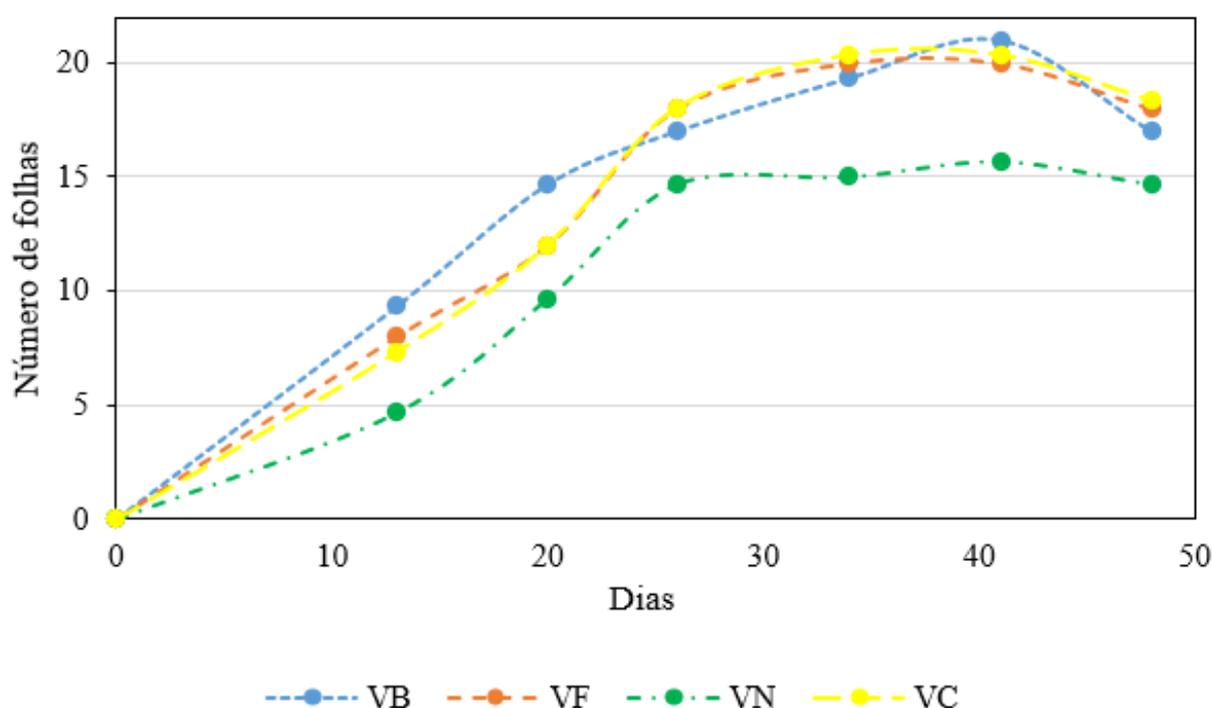


Figura 3. Variações da média do número de folhas ao longo de 48 dias. VB (tratamento branco), VF (tratamento com fertilizante comercial), VN (tratamento com critério de demanda de nitrogênio) e VC (tratamento com critério de correção de acidez)

Observa-se que o tratamento VB apresentou a maior média de crescimento inicial. Após 26 dias do plantio, nota-se que este obteve a quantidade de 17 folhas, já aos 41 dias alcançou o valor de 21 folhas, e aos 48 dias houve um decaimento para 17 folhas.

O vaso com fertilizante (VF) apresentou uma média de crescimento parecida com os demais tratamentos, aos 26 dias possuía 18 folhas, sua curva teve um leve aumento no dia 41 mas voltou a 18 folhas no dia 48. O tratamento VN teve uma média de crescimento de 14 folhas aos 26 dias, aos 41 apresentou 15 folhas, estabilizando nesse valor até o final da análise. O tratamento VC apresentou uma boa média de crescimento, cerca de 18 folhas aos 26 dias e 20 aos 41 dias, aos 48 dias também teve um decaimento na sua média para 18 folhas, pois assim como os demais tratamentos, algumas folhas ficaram secas e caíram. De acordo com a média apresentada na Figura 3, os tratamentos VB e VC apresentaram melhor desempenho geral.

Com os resultados da análise de variância para o número de folhas, considerando-se os tratamentos VB, VN e VC, como o p-valor (0,0716) obtido foi maior que o nível de significância adotado (0,05), não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Todos os tratamentos mostraram um crescimento consistente, com todas as plantas em média produzindo duas folhas por semana. No tratamento VN, observou-se um crescimento progressivo com um pico de crescimento até 4 folhas entre os dias 20 e 26, alcançando cerca de 10 a 12 folhas após o dia 41. Esses resultados indicam que todos os tratamentos foram eficazes no crescimento foliar, sendo o tratamento VN destacado por atingir até 12 folhas em uma planta.

Altura dos girassóis: Em todos os tratamentos, ao menos uma semente germinou perfeitamente, e cinco dias após a germinação, foi possível fazer as primeiras medições comparando os tratamentos utilizados. No 13º dia, em que foi realizada a primeira medição, pode-se constatar um maior crescimento em uma das sementes plantadas pelo critério II de biofósforo (VC), que apresentou altura entre 0,4 a 0,9 cm a mais que as demais sementes germinadas. Estudos demonstram que o biofósforo apresenta potencial para fornecer nutrientes às plantas em algumas concentrações, favorecendo seu crescimento e produtividade (Backes, 2009), sendo esse uma provável justificativa para o melhor crescimento das sementes. Na Figura 5 é apresentada a variação na altura média das plantas de girassol ao longo de 48 dias, com diferentes tratamentos. Todavia, não houve diferença estatística entre os três tratamentos, a 5% de significância, como apresentado na Tabela 5. Ressalta-se que os dados do tratamento VF não foram utilizados na análise de variância devido à não germinação das sementes em dois dos três vasos. Da mesma forma que foi apresentado para os dados de número de folhas, com p-valor maior que o nível de significância considerado, conclui-se que não há diferença significativa entre os tratamentos.

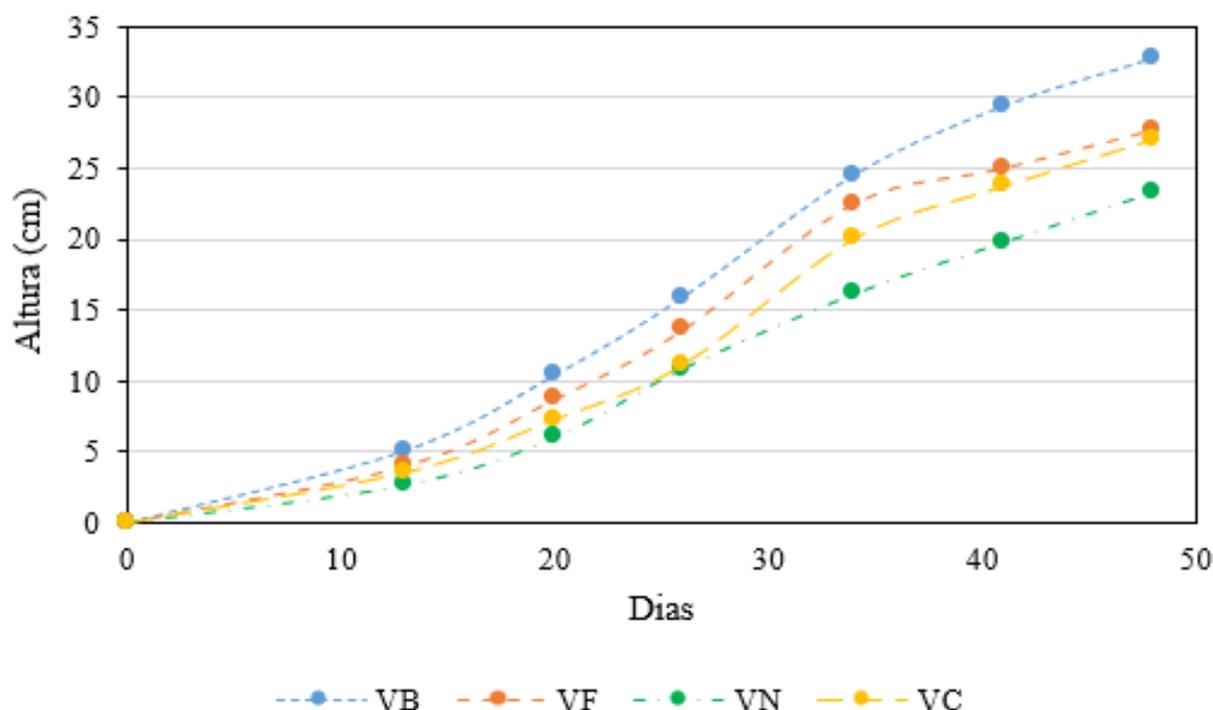


Figura 5. Variações da média das alturas dos girassóis ao longo de 48 dias. VB (tratamento branco), VF (tratamento com fertilizante comercial), VN (tratamento com critério de demanda de nitrogênio) e VC (tratamento com critério de correção de acidez)

Da mesma forma que foi apresentado para os dados de número de folhas, na ANOVA para a altura das plantas, considerando-se os tratamentos VB, VN e VC, o p-valor obtido

(0,715) foi maior que o nível de significância considerado, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. Ressalta-se que os dados do tratamento VF não foram utilizados na análise de variância devido à não germinação das sementes em dois dos três vasos.

No tratamento VB foi obtida a maior média de altura entre os tratamentos ao longo dos 48 dias, com uma curva consistentemente ascendente, atingindo cerca de 32 cm ao final do período de análise. Em relação ao tratamento VC, observou-se uma média de crescimento rápido, especialmente nos primeiros 26 dias, alcançando 27 cm ao final do estudo, mantendo um crescimento constante, mas em um ritmo inferior ao do tratamento VB. A média de crescimento do tratamento VN foi moderada em comparação aos outros tratamentos, atingindo uma altura de 23 cm ao final do período de 48 dias. Sua curva sugere um crescimento mais lento e uma estabilização dos 34 aos 41 dias. Já no tratamento VF, observou-se uma média de crescimento elevada, que alcançou cerca de 13 cm aos 26 dias, e 27 cm ao final dos 48 dias. Importante destacar que em dois dos três vasos utilizados no tratamento VF, as sementes não germinaram.

Os tratamentos VB e VC destacam-se pelo melhor desempenho em termos de média de altura das plantas. O uso de biofóssido nos tratamentos VC e VN proporcionou um ambiente mais nutritivo para as plantas, resultando em um crescimento vigoroso. Já o tratamento com fertilizante (VF) mostrou-se eficaz, apesar dos desafios enfrentados na germinação das sementes de dois vasos.

O tratamento VB (em branco) apresentou um bom desempenho na média de altura das plantas. O solo utilizado era de aluvião, com 20,5 g/dm³ de matéria orgânica (Tabela 1), formando-se a partir de sedimentos transportados por rios, que frequentemente contêm restos de plantas e materiais orgânicos. Isso contribui para a fertilidade do solo, tornando-o adequado para a agricultura e melhorando sua estrutura, sua capacidade de retenção de água e a disponibilidade de nutrientes (Borges; Ferreira, 2019).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2015), solos com 15 a 30 g dm⁻³ de matéria orgânica são considerados de teor médio. Assim, o bom crescimento do vaso do tratamento VB pode ser atribuído à boa qualidade do solo, que contém os nutrientes essenciais e boa drenagem, permitindo o crescimento das plantas mesmo sem tratamentos adicionais. Esta análise sugere que a qualidade do solo e a escolha de aditivos são cruciais para o sucesso do cultivo de girassol, com biofóssidos sendo uma opção particularmente eficaz quando se trata de um solo com pouca matéria orgânica.

Além disso, observou-se que ao longo das análises, os tratamentos VB e VC, obtiveram sementes que mais se desenvolveram em comparação com as demais, em relação ao tamanho, atingindo respectivamente 16 cm e 16,9 cm de altura até o dia 41. Ainda, é válido destacar que, neste dia, o tratamento VC obteve a planta com a maior altura entre todos os tratamentos analisados. Já no último dia de análise, uma planta do tratamento VN apresentou a maior altura, com 19,6 cm. Assim, salienta-se o bom desempenho da semente no tratamento utilizando biofóssido, Critério I (VN), que apresentou a planta com maior altura em relação às demais, e maior quantidade de folhas no período de 48 dias.

4 CONCLUSÃO

O Brasil apresenta grande potencial para aproveitamento agrícola de biossólidos, frente às grandes extensões de terras agricultáveis e os benefícios ambientais e econômicos que a prática pode representar, a partir da reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e a redução da disposição de matérias em aterros sanitários.

Os resultados mostraram que a caleação propiciou a obtenção de um biossólido classe B1, com SV/ST inferior a 65%, permitindo a sua aplicação em culturas que não são ingeridas cruas, como o girassol, de acordo com a Resolução CONAMA nº 498/2020. Apesar de alguns desafios na germinação das sementes, especialmente no tratamento com fertilizante (VF), os tratamentos VB e VC se destacaram pelo melhor desempenho geral, tanto em número de folhas quanto em altura das plantas. Contudo, não foi observada diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos.

O tratamento VC apresentou o maior crescimento inicial e final, atingindo 16,9 cm aos 41 dias. Por outro lado, o tratamento evidenciou um bom desenvolvimento em razão da boa qualidade do solo. Sendo assim, os tratamentos VB e VC se mostraram eficazes ao proporcionar um crescimento consistente e robusto das plantas de girassol. A qualidade do solo e a presença de nutrientes essenciais foram fatores decisivos para o sucesso do cultivo, sublinhando a importância do manejo adequado de biossólidos e da avaliação contínua de suas características químicas e microbiológicas para otimizar a produção agrícola.

Ainda, é válido ressaltar que, a análise foi realizada durante um período de 49 dias, e um acompanhamento por um período mais longo poderia revelar resultados diferentes, uma vez que fatores como exposição à radiação solar, precipitação e surgimento de pragas, podem influenciar o desenvolvimento das plantas ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Projeto Biossólido Itabira, SAAE Itabira, CR ETES, e Secretaria Municipal de Agricultura, e UNIFEI Itabira, os nossos sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte deste sonho

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M.; ALONSO, J. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; SANTOS, G. R. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia Raddi*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019108265>.
- AFÁZ, D. C. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, Z. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 112-123, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1965>.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 950-955, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088>.

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 24 ed. Washington: APHA, 2023.

AMORIM JUNIOR, S. S.; MAZUCATO, V. S. H.; MACHADO, B. S.; GUILHERME, D. O.; COSTA, R.B.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. Agronomic potential of biosolids for a sustainable sanitation management in Brazil: Nutrient recycling, pathogens and micropollutants. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, p. 125708, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125708>.

ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas: Editora IAC, 2006.

ARAÚJO, V. S.; SILVA, M. O.; BRITO, A. S.; SOUSA, I. L.; NUNES, F. C.; SOUZA, J. F. M.; OLIVEIRA, I. V.; SILVA, C. R.; CARVALHO, F. I. M.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. Lodo de esgoto e suas potencialidades agrícolas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e14711326200, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26200>.

AYRES, R. M.; MARA, D. D. **Analysis of wastewater for use in agriculture: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques**. World Health Organization, 1996.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 90-98, 2009.

BARCELOS, M. N. **Fontes orgânicas na composição de fertilizantes organominerais peletizados para a cultura do sorgo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Instituto de Química. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

BARUFI, M. R. **Efeito residual a aplicação de composto de lodo de esgoto no milho segunda safra em solo de cerrado**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Ilha Solteira, 2023.

BITTENCOURT, S.; MATOS, A. T.; SILVA, B. S.; OLIVEIRA, F. C.; CHAMHUM-SILVA, L. A.; MIKI, M. K.; BICO, A. K. Nota Técnica 6 - Uso agrícola de biossólido. *In*: Coletânea de Notas Técnicas 2: Valoração e gerenciamento dos subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo de esgoto no solo. **Cadernos Técnico Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 1, 2021.

BORGES, F. O.; FERREIRA, V. O. Planícies de inundação e áreas inundáveis: análise comparativa dos conceitos mediante aplicação nas bacias hidrográficas do Ribeirão Bom Jardim e Rio das Pedras, Triângulo Mineiro. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 17, n. 1, p. 114-130, 2019. <http://dx.doi.org/10.22238/rc2448269220191701114130>.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020. Critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 21 ago. 2020.

BRINGHENTI, J. R.; BOSCOV, M. E. G; PIVELI, R. P.; GUNTHER, W. M. R. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários Brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 891-899, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018124980>.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017. <https://doi.org/10.5380/rf.v47i2.44291>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma Técnica P4.230**: aplicação de lodo de sistema de tratamento em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação (manual técnico). São Paulo: CETESB, 1999.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: CFEMG, 1999.

COSTA, T. G. A.; CUNHA, L. M.; IWATA, B. F.; COELHO, J. V.; SANTOS, J. G. P.; CLEMENTINO, G. E. S. Tratamento alcalino de lodo de esgoto no preparo do biossólido como alternativa de adubo orgânico. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 13, p. 374-377, 2018. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i13.880>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo**. Aracajú: EMBRAPA, 2015.

GUIMARÃES, Y. N.; FERREIRA, N. L.; SOUZA, G. B.; BARROSO, L. L.; SILVA, S. G.; JESUS, E. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. Ciclo do nitrogênio em ambientes dulcícolas e as interferências antrópicas. **Multidisciplinary Reviews**, v. 3, n. 1, p. e2020015. <https://doi.org/10.29327/multi.2020015>.

GUIMARÃES, R. N.; MATOS, A. T.; CARPANEZ, T. G. Mapping of áreas suitable for the application of biosolids in the Quadrilátero Ferrífero region, Minas Gerais, Brazil. **REM, International Engineering Journal**, v. 75, n. 3, p. 259-266, 2022. <https://doi.org/10.1590/0370-44672020750107>.

LINS, T.; LIMA, A. Lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci – AL. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 8, p. e13511830461, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30461>.

LOBO, F. T.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo Nutrición Vegetal**, v. 7, n. 3, p. 16–25, 2007. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000300002>.

MATOS, A. T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Viçosa: Editora UFV, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2017.

MOREIRA, S. F.; SANTOS, S. D. O.; SARDINHA, A. S.; PEREIRA, A. J. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **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. da.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N. de. 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.

OLIVEIRA, K. M. de. **Avaliação química de compostos orgânicos como potenciais condicionadores de solos e substratos de plantas**. 2022. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: PROSAB, 1999.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001.

REHMAN, R. A.; RIZWAN, M.; QAYYUM, M. F.; ALI, S.; ZIA-UR-REHMAN, M.; ZAFAR-UL-HYE, M.; HAFEEZ, F.; IQBAL, M. F. Efficiency of various sewage sludges and their biochars in improving selected soil properties and growth of wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Environmental Management**, v. 223, p. 607-613, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.081>.

RODRIGUES, R. E. **Cultivares de cana-de-açúcar respondem igualmente à disponibilidade de fósforo?** Um ponto de partida para aumento da eficiência no uso desse nutriente. 2023. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2023.

SILVA, A. E. L.; GARCIA, C. C.; REIS, F. L. **Plano de manejo**: Parque Natural Municipal Mata do Intelecto. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3051a**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. USA: USEPA, 2007.