



AVALIAÇÃO DE AMOSTRADORES DE SOLO PRODUZIDOS POR IMPRESSÃO 3D: DESEMPENHO, CUSTO E APLICABILIDADE EM CAMPO

*João Vítor Bueno da Silva¹, Vinícius Davantel Klaus², Helio Henrique Soares Franco³,
Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza⁴, Santos Henrique Brant Dias⁵, Anny Rosi
Mannigel⁶*

¹Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. ra21234567-5@aluno.unicesumar.edu.br

²Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista ICETI- UniCesumar/Fundação Araucária. vinidavantel@gmail.com

³Pós-Doutorando, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista ICETI-UniCesumar/Fundação Araucária. hhsfranco@hotmail.com

⁴Pós-Doutoranda, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista ICETI-UniCesumar/Fundação Araucária. s.meyer.piazza@gmail.com

⁵Doutor, Docente no Curso de Agronomia, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. santos.dias@unicesumar.edu.br

⁶Orientadora, Doutora, Docente no Curso de Agronomia, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. anny.mannigel@unicesumar.edu.br

RESUMO

A impressão 3D tem se mostrado uma alternativa promissora para a produção de ferramentas personalizadas e de baixo custo, inclusive na ciência do solo. Este projeto visa avaliar a eficiência, resistência mecânica, durabilidade e aplicabilidade de amostradores de solo fabricados por impressão 3D, comparando-os a um modelo comercial de aço. Serão testados quatro modelos impressos em PLA (com cabo inteiro e acoplável) e dois em PETG (também com cabo inteiro e acoplável), todos produzidos em impressora FDM com parâmetros controlados. Os ensaios laboratoriais serão realizados no laboratório de fabricação mecânica da UniCesumar, enquanto os testes de campo ocorrerão em um Latossolo Vermelho de textura arenosa, em Cianorte (PR). O delineamento será inteiramente casualizado com cinco tratamentos: os quatro modelos impressos e o amostrador de aço. As coletas de solo serão realizadas apenas com os modelos com cabo acoplável e com o modelo padrão, utilizando anéis volumétricos, com 16 repetições por tratamento. Serão analisadas a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e capacidade de campo no laboratório Agrolab. Após os testes de campo, todos os amostradores impressos serão submetidos a ensaios mecânicos laboratoriais. Os dados obtidos serão analisados estatisticamente para verificar o desempenho técnico e econômico dos modelos impressos, visando demonstrar a viabilidade do uso de amostradores 3D como alternativa funcional aos modelos convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: Ácido polilático; Amostragem de solo; Filamento fundido; Manufatura aditiva; Polietileno tereftalado glicol.

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D, também conhecida por manufatura aditiva, mostrou-se uma tecnologia inovadora em diversos setores (Pongwisuthiruchte; Potiyaraj, 2025). Segundo Zucca et al. (2018), a capacidade de produzir objetos tridimensionais a partir de modelos digitais permite a criação de peças, equipamentos e ferramentas de utilização ao setor agrícola e de pesquisa, com custos reduzidos e tempo de produção menor em comparação aos métodos tradicionais.

No contexto da análise de solo, conforme demonstrado por Souza et al. (2014), os amostradores de solo convencionais, feitos em aço, apresentam eficiências distintas, onde os trados do tipo encaixe, castelo e Uhlund, são eficientes por minimizarem os erros do operador e proporcionarem maior precisão na coleta das amostras. Nesse cenário, a introdução da impressão 3D oferece a possibilidade de desenvolver amostradores personalizados, de baixo custo e com design ajustável às necessidades específicas de cada estudo ou propriedade agrícola. Além disso, a tecnologia de impressão 3D permite o



controle preciso da geometria e da estrutura interna dos objetos fabricados, permitindo a criação de peças com características mecânicas específicas e voltadas a diferentes usos (Aguiar, 2016). Entretanto, é necessário compreender os princípios da impressão 3D e do material utilizado.

Rodrigues e Stocco (2020) afirmam que o método de Fabricação com Filamento Fundido (FDM) proporciona peças com custo reduzido, rápida construção e boa precisão, tornando esta uma tecnologia com ótima relação de custo-benefício. Nesse contexto, o ácido polilático (PLA) é o filamento mais utilizado em impressões 3D e consiste em um poliéster alifático linear, termoplástico, semicristalino e amorfo. Esse filamento possui boas propriedades mecânicas, estabilidade térmica e pode ser sintetizado a partir de fontes renováveis (Santana et al., 2018). Medeiros et al. (2020) analisaram a influência de parâmetros como a densidade de preenchimento e o número de perímetros nas propriedades mecânicas de peças em PLA, concluindo que ajustes nestes parâmetros podem melhorar significativamente a resistência das peças produzidas por impressão 3D.

Em comparação, o politereftalato de etileno glicol (PETG) é um termoplástico amorfo e transparente, com alta resistência química, apresentando vantagem em flexibilidade, durabilidade e resistência ao calor em relação ao PLA (Yan et al., 2024). No entanto, igualmente ao que ocorre com o PLA, é necessário se atentar aos parâmetros como a densidade de preenchimento e o número de perímetros nas propriedades mecânicas de peças confeccionadas com este filamento, pois tais parâmetros também influenciam a durabilidade e a resistência do PETG (Kumaresan et al., 2025).

No que se refere a utilização de materiais impressos em 3D para a amostragem de solo, a importância do conhecimento do filamento utilizado e do processo de confecção do material reside em aperfeiçoar e aumentar a resistência do protótipo, tornando-o mais resistente, durável e com características próximas aos amostradores convencionais. Outro ponto a ser considerado é o custo relacionado ao processo. Atualmente, os amostradores de solo convencionais, fabricados em aço, apresentam elevados custos de aquisição e são comercializados por um número restrito de empresas especializadas, o que pode limitar o acesso a esses equipamentos. Dessa forma, a utilização de amostradores produzidos por impressão 3D surge como uma alternativa econômica e viável, permitindo a fabricação local de dispositivos sob demanda, com custos reduzidos e maior acessibilidade. Nesse sentido, a impressão 3D possibilita a criação de modelos ajustáveis e de fácil reposição, otimizando o processo de coleta de amostras de solo, além de democratizar o acesso a esse tipo de equipamento.

Diante do exposto, esta pesquisa busca responder a seguinte hipótese: “amostradores de solo produzidos por impressão 3D em PLA (ácido polilático) e PETG (polietileno tereftalato glicol) apresentam desempenho físico (precisão e acurácia), resistência mecânica e funcionalidade comparáveis aos modelos comerciais de aço utilizados para amostragem de solo?”. Com base no exposto, o projeto de pesquisa avaliará quatro protótipos distintos: (I) trado castelo com haste acoplável em PLA e parafuso central para fixação; (II) trado castelo com haste fixa em PLA; (III) trado castelo com haste acoplável em PETG e parafuso central para fixação; (IV) trado castelo com haste fixa em PETG. As amostras de solo obtidas por meio desses protótipos serão comparadas às amostras coletadas por meio de um amostrador padrão de aço inox. Espera-se que os amostradores de solo inteiramente impresso em 3D (com haste fixa) apresentem menor durabilidade e resistência mecânica, quando comparado ao amostradores com haste acoplável fabricados com os dois tipos de filamentos. Além disso, espera-se que modelos confeccionados em PETG ofereçam maior resistência mecânica em relação aos modelos produzidos em PLA. No entanto, é esperado que todos os protótipos apresentem precisão e acurácia semelhante ao amostrador padrão na coleta das amostras de solo. Em



complemento, espera-se que os modelos 3D apresentem redução de custos e facilidade de customização em relação aos amostradores de solo convencionais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo será conduzido como uma pesquisa experimental aplicada, com o objetivo de avaliar a resistência, funcionalidade e aplicabilidade prática de diferentes modelos de amostradores de solo fabricados por impressão 3D utilizando o polímero ácido polilático (PLA) e o polietileno tereftalado glicol (PETG), em comparação a um amostrador comercial de aço.

As coletas de amostras serão realizadas no município de Cianorte-PR, em área de solo arenoso (Latosolo Vermelho), enquanto as análises laboratoriais ocorrerão em dois diferentes laboratórios: o AgroLab, para análise de parâmetros das amostras, e o Laboratório de Fabricação Mecânica da Engenharia Civil, onde serão conduzidos os testes de resistência mecânica dos amostradores impressos em 3D. Os laboratórios estão localizados na UniCesumar, campus Maringá.

A população amostral do estudo será composta por amostras de solo coletadas com os amostradores confeccionados em PLA e PTG com haste acoplável e pelo amostrador padrão (aço). A amostragem seguirá delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e dezesseis repetições cada, totalizando 48 unidades amostrais:

- T1: Trado castelo com haste acoplável em PLA com parafuso central de fixação em aço;
- T2: Trado castelo com haste acoplável em PETG com parafuso central de fixação em aço
- T3: Controle (amostrador comercial em aço).

Os amostradores serão confeccionados em impressora 3D FDM (Modelos Prusa e Ultimaker), utilizando rolos de PLA (ácido polilático) e PETG (polietileno tereftalato glicol) com densidade de preenchimento de 100%, temperatura de extrusão de 200°C e velocidade de impressão de 60 mm/s. O software de modelagem utilizado será o Fusion 360® ou similar. O tempo estimado de impressão de cada componente será entre 4 e 8 horas.

Cada tratamento (amostrador) será utilizado para coletar amostras de solo com anéis volumétricos em campo, com posterior envio ao laboratório. As variáveis analisadas em cada amostra serão:

- Densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$);
- Macroporosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);
- Microporosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);
- Porosidade total ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);
- Capacidade de campo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);
- Facilidade de uso e operação em campo (avaliação qualitativa);
- Resistência mecânica à tração ou ruptura (medida com dinamômetro ou prensa hidráulica no Laboratório de Fabricação Mecânica da Engenharia Civil).

Os dados quantitativos obtidos nas análises laboratoriais serão organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®) e analisados estatisticamente com o uso de software interpretador da linguagem R. As análises estatísticas constarão de Análise de Variância (ANOVA) e teste de médias, para comparação entre os tratamentos.

Além disso, será feito um levantamento do custo estimado para fabricação de cada protótipo em comparação com o valor de mercado do amostrador de aço, buscando estimar o custo-benefício das alternativas desenvolvidas.



3 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que este estudo contribua para o avanço do conhecimento e da tecnologia na área de ciência do solo, com foco na aplicação da impressão 3D para a produção de amostradores em PLA e PETG. Os resultados permitirão avaliar a eficiência dos modelos quanto à resistência mecânica, durabilidade e aplicabilidade prática em campo, por meio da comparação com o amostrador convencional de aço.

A expectativa é de que os modelos com cabo acoplável apresentem melhor desempenho mecânico em comparação aos de cabo inteiriço. Também se espera que os modelos em PETG sejam mais resistentes do que os fabricados em PLA, e que todos os protótipos tenham desempenho satisfatório nas coletas e análises laboratoriais.

Além disso, os dados obtidos poderão servir de base para o desenvolvimento de novos equipamentos agrícolas produzidos por impressão 3D. Isso pode ajudar a reduzir custos e barreiras de acesso, tornando ferramentas como os amostradores de solo mais acessíveis para instituições de ensino, pequenos produtores e projetos de extensão. Dessa forma, o estudo poderá promover inovação, sustentabilidade e ampliar o acesso à tecnologia no meio rural.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impressão 3D demonstra grande potencial como alternativa viável para a confecção de amostradores de solo, proporcionando redução de custos, customização e acessibilidade, especialmente em contextos educacionais, de pesquisa e extensão rural. A partir da proposta deste estudo, espera-se comprovar que os modelos produzidos em PLA e PETG, sobretudo aqueles com cabo acoplável, apresentam desempenho satisfatório nas coletas de solo, resistência mecânica adequada e aplicabilidade prática em campo, quando comparados ao amostrador convencional de aço.

A aplicação de testes laboratoriais e ensaios de campo permitirá identificar quais configurações oferecem melhor custo-benefício e resistência, contribuindo para o aprimoramento de projetos futuros e incentivando o uso de tecnologias emergentes na ciência do solo. A possibilidade de fabricar amostradores de forma personalizada e sob demanda reforça a relevância da impressão 3D como ferramenta de democratização do acesso a equipamentos técnicos.

Os resultados esperados poderão incentivar o desenvolvimento de outras ferramentas agrícolas utilizando manufatura aditiva, promovendo inovação, sustentabilidade e autonomia técnica, especialmente em regiões com recursos limitados. Dessa forma, este estudo poderá servir de base para novas iniciativas que visem integrar a tecnologia à prática agrícola de maneira acessível, eficiente e inovadora.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. D. C. D. **UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**. 2016. Dissertação – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2016. Acesso em: 5 mar. 2025.

DE SOUZA, B. R.; DA SILVA JÚNIOR, C. A.; DE CARVALHO, L.; PELLIN, D.; CORRÊA, A.; DE SOUSA, R. DESEMPENHO DE AMOSTRADORES DE SOLO SOB DIFERENTES



COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO DE AQUIDAUANA-MS. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 146–158, 2014. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2014_012.

KUMARESAN, R.; KADIRGAMA, K.; SAMYKANO, M.; HARUN, W. S. W.; THIRUGNANASAMBANDAM, A.; ASLFATTAHI, N.; SAMYLINGAM, L.; KOK, C. K.; GHAZALI, M. F. Optimization of inter-layer printing parameters for enhanced mechanical performance of PETG in Fused Deposition Modeling (FDM). **Results in Engineering**, v. 25, p. 104564, mar. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104564>.

MEDEIROS, M.; DA SILVA, M.; DE OLIVEIRA, D.; DOS SANTOS, F.; RODRIGUES, L. K. Influência da Densidade de Preenchimento e do Número de Perímetros nas Propriedades Mecânicas de Peças Fabricadas em PLA a Partir de Impressão 3D. **CALIBRE - Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada**, v. 5, p. 33, 20 dez. 2020. <https://doi.org/10.17648/calibre.v5.1478>.

PONGWISUTHIRUCHTE, A.; POTIYARAJ, P. Challenges and innovations in sustainable 3D printing. **Materials Today Sustainability**, v. 31, p. 101134, set. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101134>.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; SABINO NETTO, A. D. C.; MERLINI, C. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, n. 4, 6 dez. 2018. DOI 10.1590/s1517-707620180004.0601. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000400457&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 5 mar. 2025.

STOCCO, T. D.; RODRIGUES, R. A. Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3D para amputados. **Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 27, n. 1, p. 65, 21 dez. 2020. <https://doi.org/10.17696/2318-3691.27.1.2020.1640>.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos.**: Embrapa, 2017.

YAN, C.; KLEINER, C.; TABIGUE, A.; SHAH, V.; SACKS, G.; SHAH, D.; DESTEFANO, V. PETG: Applications in Modern Medicine. **Engineered Regeneration**, v. 5, n. 1, p. 45–55, mar. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2023.11.001>.

ZUCCA, R.; SANTOS, R.; LOVATTO, J.; SANCHES, A. ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA 3D EM PROCESSOS PRODUTIVOS NO MEIO RURAL. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 517–532, 3 dez. 2018. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B45.