

SEMENTEIRAS SUSTENTÁVEIS: MODELAGEM MATEMÁTICA DA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATE

Sustainable seed production: Mathematical modeling of tomato germination and growth

Antonia Heloá Barbosa Firmino¹

Larah Evellyn Nunes de Abreu¹

Deivielison Ximenes Siqueira Macedo²

Layanna Paula Paiva Pereira³

Resumo:

Em assentamentos rurais, o descarte inadequado de resíduos sólidos, como papelão e bandejas de ovos, é um desafio recorrente, agravado pela ausência de coleta seletiva e pela prática comum da queima, que contribui diretamente para a degradação ambiental e as emissões de gases poluentes. Diante da crise climática e da necessidade urgente de soluções sustentáveis, torna-se fundamental encontrar usos alternativos para esses materiais, especialmente em contextos de baixa renda e limitada infraestrutura. Este trabalho investiga a viabilidade do reaproveitamento desses resíduos na confecção de sementeiras artesanais, utilizando a modelagem matemática como ferramenta para quantificar seu desempenho em comparação a sementeiras convencionais de plástico. A partir de um experimento com sementes de tomate, foram analisadas as taxas de germinação e o crescimento das plântulas em três tipos de sementeiras: papelão, bandeja de ovo e convencional. Aplicaram-se testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e análise de variância (ANOVA), destacando-se a equivalência estatística na germinação e o padrão dinâmico de crescimento das plântulas ao longo do tempo. Os resultados apontam o potencial das sementeiras recicladas como alternativas de baixo

Abstract:

In rural settlements, the improper disposal of solid waste—such as cardboard and egg trays—is a recurring challenge, exacerbated by the lack of selective collection systems and the common practice of open burning, which contributes to environmental degradation and greenhouse gas emissions. Amid the climate crisis and the urgent need for sustainable solutions, it is essential to find alternative uses for these materials, especially in low-income contexts with limited infrastructure. This study investigates the feasibility of reusing such waste in the creation of handmade seed trays, using mathematical modeling as a tool to quantify their performance in comparison to conventional plastic trays. An experiment with tomato seeds was conducted to analyze germination rates and seedling growth across three types of seed trays: cardboard, egg trays, and conventional. Normality tests (Shapiro-Wilk) and variance analysis (ANOVA) were applied, revealing statistical equivalence in germination and dynamic growth patterns over time. The results highlight the potential of recycled trays as low-cost alternatives, aligned with environmental sustainability and mathematics education focused on solving real-world problems during times of climate emergency.

1. Educanda da 2ª série do Ensino Médio da Escola de Ensino Médio Profissional do Campo João dos Santos de Oliveira.

2. Doutor em Engenharia Agrícola. Professor na Escola de Ensino Médio Profissional do Campo João dos Santos de Oliveira. derliximenes@gmail.com.

3. Graduada em Língua Portuguesa. Professora na Escola de Ensino Médio Profissional do Campo João dos Santos de Oliveira. layannapps@gmail.com.

custo, alinhadas à sustentabilidade ambiental e à educação matemática voltada à resolução de problemas reais em tempos de emergência climática.

Palavras-chave: Reaproveitamento de resíduos. Assentamentos rurais. Papelão na agricultura. Crise climática.

Keywords: Waste reuse. Rural settlements. Cardboard in agriculture. Climate crisis.

1 INTRODUÇÃO

As comunidades rurais, assim como as urbanas, produzem resíduos diversificados. No entanto, enfrentam a falta de opções e procedimentos adequados para a destinação desses materiais, o que gera acúmulo de lixo nas propriedades e aumenta o risco de impactos ambientais (Romani, 2014a).

A ausência de coleta seletiva, a grande distância das áreas urbanas e a baixa densidade populacional impõem aos moradores a necessidade de encontrar destinos para esses resíduos. Algumas dessas destinações, como o descarte em quintais, o enterro, o descarte em rios ou a queima, causam significativo impacto ambiental (Leite *et al.*, 2014). Contudo, processos de reciclagem podem minimizar o impacto ambiental e social desses resíduos (Santos, 2012), e a utilização do papelão na agricultura surge como uma alternativa promissora.

O papelão, produzido a partir de matérias-primas renováveis e 100% reciclável, é considerado um material sustentável. Sua aplicação na agricultura pode trazer diversos benefícios, dependendo da inovação em seu uso (Lopes, Pereira e Santos, 2020).

Uma característica vantajosa do papelão para a agricultura é sua capacidade de reter umidade, o que beneficia as plantas. Além disso, ao se decompor, o papelão adiciona matéria orgânica ao solo e protege contra plantas invasoras (Nagy *et al.*, 2022). Essa característica o torna uma boa alternativa para o uso em sementeiras de culturas que necessitam de transplante, como o tomate.

Para uma melhor compreensão da funcionalidade do papelão como sementeira, é crucial utilizar mecanismos que quantifiquem sua utilidade para as plantas, como a modelagem matemática.

Diversos estudos demonstram a utilidade da modelagem matemática na agricultura, seja para prever o crescimento das plantas, simular o crescimento em diferentes variáveis climáticas (Balbinote Júnior *et al.*, 2014) ou auxiliar na determinação da densidade ideal de plantio e espaçamento entre plantas (Mendes *et al.*, 2018). Esses estudos permitem uma análise e interpretação mais precisa dos resultados obtidos no campo.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a reutilização desses resíduos na confecção de sementeiras agrícolas, alinhando a preocupação ambiental à prática agrícola sustentável. Essa alternativa de baixo custo visa reduzir o descarte inadequado e promover o aproveitamento inteligente de recursos locais. Para avaliar a eficácia dessa prática, a modelagem matemática foi empregada como ferramenta central, especialmente por meio da estatística aplicada (Mendes *et al.*, 2018). Através da análise quantitativa

da germinação e desenvolvimento de plântulas, busca-se interpretar o desempenho das sementeiras recicladas em comparação às convencionais, integrando educação ambiental, reaproveitamento e análise de dados para soluções viáveis.

Assim, objetivou-se avaliar a viabilidade do uso de sementeiras artesanais confeccionadas com materiais recicláveis (papelão e bandeja de ovos) no processo de germinação e crescimento de sementes de tomate, por meio de ferramentas de modelagem matemática e análise estatística.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A germinação é uma etapa crítica do ciclo de vida das plantas, sendo influenciada por fatores como temperatura, umidade, oxigenação e substrato. No caso do tomate (*Solanum lycopersicum*), a germinação ocorre de forma eficiente sob temperaturas entre 20 °C e 30 °C, com umidade constante e substratos com boa drenagem e capacidade de retenção de água (Santos *et al.*, 2020). Um ambiente inadequado pode atrasar ou impedir esse processo, afetando a produtividade agrícola.

As sementeiras são estruturas fundamentais para garantir as condições adequadas à germinação e ao crescimento inicial das plântulas. As sementeiras comerciais, geralmente de plástico, oferecem uniformidade e controle, mas também geram resíduos que impactam negativamente o meio ambiente. Por outro lado, as sementeiras artesanais feitas com materiais recicláveis, como papelão e bandejas de ovos, representam uma alternativa sustentável, especialmente em comunidades rurais que enfrentam dificuldades com a destinação adequada de resíduos sólidos (Romani, 2014a).

O papelão, por ser biodegradável, reciclável e com boa capacidade de retenção hídrica, pode melhorar o ambiente de germinação, protegendo as sementes e contribuindo para o controle de umidade e temperatura (Lopes; Pereira; Santos, 2020). Entretanto, suas limitações físicas – como drenagem deficiente – exigem atenção no seu uso prático. A avaliação de sua eficiência deve ser feita com base em indicadores concretos e métodos científicos.

Nesse contexto, a modelagem matemática torna-se essencial para quantificar e interpretar o desempenho das diferentes sementeiras. A representação dos dados por gráficos de linha, que mostram a altura média das plantas ao longo do tempo, permite uma visualização clara do comportamento do crescimento em cada tipo de tratamento. Além disso, o uso de tabelas com médias auxilia na comparação direta entre os dias e os tratamentos aplicados (Morettin; Bussab, 2010).

A análise estatística dá suporte à interpretação dos dados de forma objetiva. Inicialmente, é necessário verificar se os dados seguem uma distribuição normal, utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Se os dados apresentarem normalidade (valor- $p > 0,05$), podem ser empregados testes estatísticos paramétricos com maior confiabilidade (Triola, 2016).

Entre esses testes, a Análise de Variância (ANOVA) é a ferramenta principal para verificar se as diferenças observadas entre os tratamentos são estatisticamente significativas. O Teste F, aplicado dentro da ANOVA, avalia se as médias dos diferentes grupos (tipos de sementeiras) são realmente distintas, ou se as variações podem ter ocorrido por acaso (Montgomery; Runger, 2012).

Nos casos em que os dados são registrados ao longo de vários dias, como no crescimento das plântulas, a ANOVA de medidas repetidas permite observar não apenas as diferenças entre os grupos, mas também a interação entre o tipo de sementeira e o tempo. Isso é fundamental para entender padrões dinâmicos de crescimento e para interpretar variações decorrentes de mudanças climáticas, como excesso de chuva ou calor extremo, fatores cada vez mais frequentes diante das crises ambientais atuais.

Os principais indicadores de eficiência no experimento com germinação de tomates incluem: a taxa de germinação (percentual de sementes que germinaram), e o crescimento médio das plântulas (geralmente medido em centímetros ao longo do tempo). Esses dados permitem avaliar a viabilidade técnica das sementeiras recicladas em comparação às comerciais e ajudam a embasar, com rigor científico, propostas sustentáveis de reaproveitamento de resíduos em comunidades rurais.

Portanto, a integração entre os conhecimentos da biologia vegetal e da modelagem matemática permite uma análise aprofundada dos resultados, fortalecendo práticas sustentáveis e baseadas em evidência no contexto da produção agrícola de baixo custo e impacto.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Escola de Ensino Médio Profissional do Campo João dos Santos de Oliveira, no município de Madalena, Ceará. Foram utilizadas sementes da cultivar Santa Inês de tomate, com poder germinativo de 80%, conforme especificado pelo fornecedor.

Foram testados três tipos de sementeiras: convencional de plástico, bandeja de ovos e caixa de papelão reciclado (Figura 1). A sementeira convencional foi dividida em três seções, cada uma representando uma repetição. Foram utilizadas três bandejas de ovos, uma para cada repetição e embaixo foi colocado sua capa protetora de plástico. A caixa de papelão foi confeccionada artesanalmente, com três camadas de papelão na base e furos para drenagem de água. Ela foi dividida internamente para formar três compartimentos, correspondentes às três repetições.

Figura 1 – Sementeiras utilizadas após a semeadura do tomate



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados, com três tratamentos (tipos de sementeiras), três repetições por tratamento e 30 sementes por repetição, totalizando 270 sementes. O substrato utilizado foi o mesmo em todas as sementeiras. As irrigações foram feitas manualmente, uma vez ao dia, e em alguns dias através da chuva.

A contagem da germinação teve início quando pelo menos uma repetição de cada tratamento apresentou emergência de plântulas. Foram realizadas sete avaliações da germinação ao longo do tempo. A variável de germinação considerada foi média do percentual de sementes germinadas nas 3 repetições de cada tratamento, com foco na germinação final, contabilizada no último dia de coleta.

O crescimento das plântulas foi avaliado em centímetros utilizando régua comum, a partir do momento em que todas as repetições de todos os tratamentos apresentavam plantas germinadas. Também foram feitas sete avaliações de crescimento, realizadas duas vezes por semana, ao longo de aproximadamente três semanas e meia, porém seis semanas de experimento.

Os dados de germinação e crescimento foram organizados em planilhas e submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Para a variável germinação, foi analisado apenas o valor final (último dia) do índice de germinação. Já para o crescimento, foram analisados os dados de cada um dos sete dias. Em seguida, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) e teste F para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos no *software* Sisvar.

Os resultados foram apresentados por meio de gráficos de linhas, elaborados para representar o comportamento da germinação e o crescimento médio das plântulas ao longo do tempo para cada tipo de sementeira.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi utilizada a modelagem matemática (análise de variância) para quantificar e interpretar o desempenho das sementeiras em relação a germinação e altura das plantas no decorrer dos dias.

A análise de normalidade dos dados de germinação, realizada pelo teste de Shapiro-Wilk ($Pr < W = 0,4525$), indicou uma distribuição normal, valor maior que 0,05, permitindo a aplicação de métodos paramétricos (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise Estatística do Desempenho das Sementeiras.

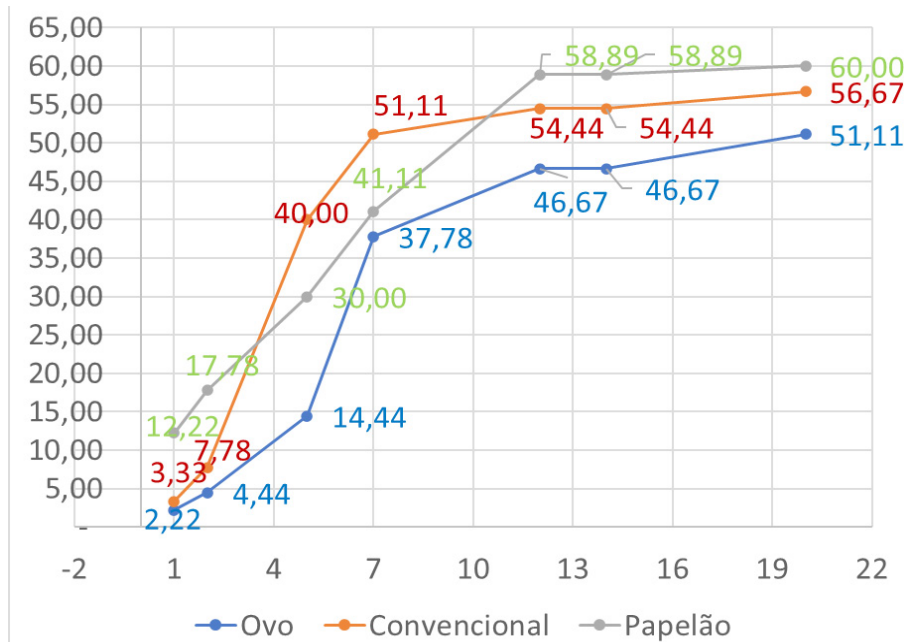
| VARIÁVEL | N | Normalidade (p-valor) | P-valor (nova) |
|----------------------|------|-----------------------|----------------|
| Germinação | 9 | 0,4525244 | 0,5317 |
| Crescimento (altura) | 1007 | 0,0001648 | 0,0000 |

Variável: O dado analisado no experimento. **n:** O número de observações (amostras) para cada variável. **Normalidade (p-valor):** Indica se os dados se comportam de forma "normal e previsível. Pelo teste Shapiro-Wilk, se o valor for maior que 0,05, eles são considerados normais; **P-valor (anova):** Análise de Variância utilizada para comparar as médias. Se o valor for maior que 0,05, os dados são estatisticamente semelhantes, se os forem menores há diferença estatística entre as médias

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Análise de Variância para a germinação final revelou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos (tipos de sementeira; $Pr > F_c = 0,4137$), nem entre as repetições ($Pr > F_c = 0,8483$). O teste de Tukey confirmou a semelhança estatística entre as médias de germinação final para a bandeja de ovo [15,33], sementeira convencional (17) e papelão [17,67], ou seja, o máximo de germinação nos tratamentos bandejas não diferiram estatisticamente [Figura 2].

Figura 2 – Taxa de Germinação das Sementeiras ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelos autores [2025].

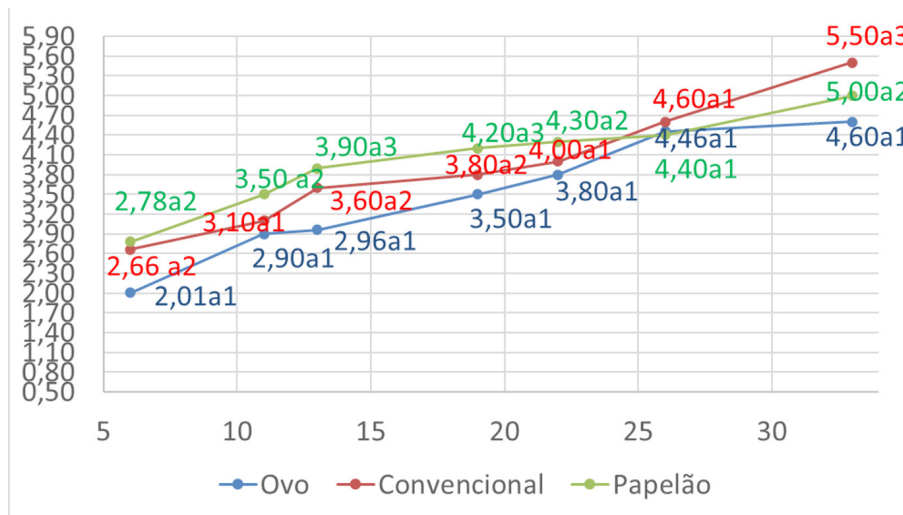
Este resultado é particularmente relevante para a Educação Ambiental e Sustentabilidade. A obtenção de uma germinação final similar em sementeiras confeccionadas a partir de materiais recicláveis (bandeja de ovo e papelão), quando comparada à sementeira convencional, demonstra a viabilidade dessas alternativas para a fase inicial da produção de culturas como o tomate. Esta equivalência na taxa final de germinação apoia o conceito de que o reaproveitamento de resíduos, evitando seu descarte inadequado, aterros e, principalmente, a queima, uma prática comum e de alto impacto ambiental em comunidades rurais [Leite *et al.*, 2014], é uma alternativa promissora. Observações qualitativas indicaram, contudo, uma possível demora inicial na germinação na bandeja de ovos, provavelmente devido à menor eficiência de drenagem e aeração em sua base, um fator que exige atenção no design de futuras sementeiras a partir de materiais reutilizados.

A análise da normalidade para os dados de altura das plântulas pelo teste de Shapiro-Wilk ($Pr < W = 0,0001648$) apontada na Tabela 1 indicou desvio da normalidade. No entanto, dada a robustez da Análise de Variância (ANOVA) para grandes conjuntos de dados ($n=1007$), mesmo na presença de não-normalidade, a metodologia foi aplicada para quantificar o crescimento, conforme justificado por Blanco *et al.* [2017].

A ANOVA de medidas repetidas para a altura revelou efeitos altamente significativos para o DIA ($F[6,987] = 334,132$; $p < 0,0001$), TRATAMENTO ($F[2,987] = 84,511$; $p < 0,0001$), e crucialmente, para a interação TRATAMENTO*DIA ($F[11,987] = 11,881$; $p < 0,0001$). A significância da interação é um bom resultado

demonstrativo, pois, através da modelagem matemática, ela nos permite compreender que o padrão de crescimento das plântulas não é estático, mas sim dinâmico e dependente da combinação do tipo de sementeira e do estágio de desenvolvimento. Essa complexidade ressalta a importância de saberes científicos para otimizar práticas agrícolas em tempos de crise global, onde cada recurso precisa ser otimizado (Figura 3).

Figura 3 – Análise do crescimento das plantas ao longo do tempo.



Letras minúsculas seguidas de números iguais: estatisticamente semelhantes;

Letras minúsculas seguidas de números diferentes: médias estatisticamente diferentes.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O desdobramento da interação TRATAMENTO*DIA (Teste de Tukey) ilustra essa dinâmica:

Fase Inicial (Dia 6 a Dia 11): A sementeira de papelão demonstrou superioridade no crescimento inicial (Dia 6: 2,78 cm; Dia 11: 3,50 cm), evidenciando seu potencial como uma alternativa de baixo custo e impacto para o estabelecimento rápido de culturas. Essa característica se alinha aos benefícios do papelão (Lopes, Pereira e Santos, 2020), como a capacidade de retenção de umidade, que favorece o desenvolvimento inicial.

Fase Intermediária (Dia 13 a Dia 22): O padrão de crescimento continuou a se diferenciar, com a sementeira de papelão mantendo a liderança na maioria dos pontos (ex: Dia 19: 4,30 cm), seguida pela convencional e pela bandeja de ovo.

Fase Final (Dia 26 e Dia 33): Observou-se uma mudança no desempenho relativo. No Dia 26, as sementeiras de ovo (4,46 cm) e convencional (4,60 cm) apresentaram alturas estatisticamente similares. Contudo, no Dia 33, a sementeira convencional (5,50 cm) emergiu como a de maior altura final, superando a de papelão (5,00 cm) e a bandeja de ovo (4,60 cm). Esta alteração pode ser contextualizada por um evento climático crucial: na última semana do experimento, chuvas intensas levaram à drenagem deficitária na caixa de papelão, exigindo intervenções para criar aberturas maiores. Este episódio realça a emergência climática e a necessidade de adaptação no uso de materiais sustentáveis. Ele demonstra que, embora o papelão seja uma solução promissora de reciclagem (Santos, 2012), seu uso em

cenários ambientais específicos requer adaptações baseadas em conhecimento científico para garantir a funcionalidade e evitar impactos negativos [como o acúmulo de água que prejudica o crescimento].

Após o experimento ter sido encerrado os tomates provenientes do estudo foram plantados em canteiros da mandala na Escola de Ensino Médio Profissional do Campo João dos Santos de Oliveira (Figura 4) os quais foram utilizados para alimentação na própria escola.

Figura 4 – Tomates plantados e produzindo ao final do experimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sementeiras artesanais confeccionadas com materiais recicláveis é uma alternativa viável à sementeira convencional de plástico, especialmente nas fases iniciais do cultivo do tomate. A análise estatística da germinação revelou que não houve diferenças significativas entre os tratamentos, reforçando a eficácia das sementeiras sustentáveis em termos de estabelecimento inicial das plantas.

No que se refere ao crescimento das plântulas, a modelagem matemática indicou variações ao longo do tempo, com destaque para a sementeira de papelão nas fases iniciais e intermediárias. Entretanto, fatores ambientais, como o excesso de chuvas no final do experimento, afetaram negativamente o desempenho do papelão, evidenciando limitações relacionadas à drenagem e à resistência estrutural. Esse achado ressalta a importância de ajustes técnicos no design das

sementeiras sustentáveis para garantir seu desempenho em diferentes condições climáticas com aberturas maiores e maiores profundidades.

A integração entre práticas sustentáveis e ferramentas estatísticas permitiu uma análise criteriosa, fortalecendo a proposta de reaproveitamento de resíduos como estratégia ambientalmente responsável e economicamente acessível para a agricultura familiar. Além disso, o projeto contribuiu para a Educação Ambiental ao sensibilizar sobre os impactos do descarte inadequado de resíduos e incentivar soluções locais. Conclui-se, portanto, que a aplicação de conhecimentos científicos, como a modelagem matemática, é fundamental para validar e aperfeiçoar práticas agrícolas de baixo custo e impacto, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

- BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BACKES, R. L.; BARBOSA, A. S.; SOUZA, A. M. Modelagem matemática no crescimento de plantas sob diferentes variáveis climáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 22, n. 3, p. 312–321, 2014.
- LEITE, D. B. S.; SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, G. L. Descarte de resíduos sólidos em comunidades rurais e seus impactos ambientais. **Revista Brasileira de Resíduos Sólidos**, v. 9, n. 2, p. 42–58, 2014.
- LOPES, R. M.; PEREIRA, A. C. S.; SANTOS, D. R. Reciclagem de papelão na agricultura familiar: uma proposta de uso sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 3, p. 89–96, 2020.
- MENDES, F. L.; GOMES, R. S.; COSTA, L. M.; ARAÚJO, V. P. Aplicações de modelagem matemática para otimização da densidade de plantio em culturas agrícolas. **Revista de Matemática e Estatística Aplicada na Agricultura**, v. 10, n. 1, p. 33–41, 2018.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- NAGY, B.; SMITH, J.; TAYLOR, R.; BROWN, L. Benefits of cardboard in agriculture: moisture retention, organic matter, and weed control. **Journal of Agricultural Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 105–118, 2022.
- ROMANI, A. M. Gestão de resíduos sólidos em comunidades rurais: desafios e soluções. **Revista de Desenvolvimento Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 25–34, 2014a.
- ROMANI, C. C. **Gestão de resíduos de saúde animal em propriedades rurais do município de Concórdia**. 2014. Monografia [Especialização em Gestão Ambiental em Municípios] – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014b.
- SANTOS, A. K. S. Impacto ambiental e social da reciclagem de materiais. **Revista de Meio Ambiente e Sociedade**, v. 8, n. 2, p. 77–84, 2012.

SANTOS, R. P.; LIMA, E. S.; ALMEIDA, F. G.; MARTINS, J. V. Germinação de sementes de tomate em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 98-103, 2020.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.