

Aplicação de Ferramentas da Qualidade na Melhoria do Processo de Enraizamento de Avelós em Solo Amazônico

Maria Alice Lima do Nascimento (UFPA) *maria.alice@abaetetuba.ufpa.br*
Eduardo Braga Costa Santos (UFPA) *eduardo.santos@ufpa.br*

Resumo

Por meio da aplicação de ferramentas de qualidade e melhoria de processos, foi investigada uma padronização para averiguar a viabilidade técnica de implementação de cultivo do Avelós. Para a identificação das condições mais favoráveis ao enraizamento, foram realizados quatro modelos experimentais em que foram consideradas métricas de desempenho, como: taxa de sobrevivência, enraizamento e brotação. Com auxílio de indicadores, fluxograma operacional e técnicas de gestão da qualidade (como diagrama de Pareto e análise de causa e efeito), o processo foi analisado com o objetivo de reduzir falhas e padronizar um protocolo replicável. Os resultados indicam que o modelo em solução nutritiva e adaptação gradual ao ambiente demonstrou-se a mais eficiente, além de oferecer insights críticos para o desenvolvimento de um sistema de gestão de qualidade aplicado à produção de mudas.

Palavras-chave: *Avelós, gestão da qualidade, processos, padronização, enraizamento.*

Abstract

Through the application of quality management tools and process improvement techniques, a standardization approach was investigated to assess the technical feasibility of implementing Avelós cultivation. To identify the most favorable conditions for rooting, four experimental models were carried out, considering performance metrics such as survival rate, rooting, and sprouting. With the support of indicators, an operational flowchart, and quality management techniques (such as the Pareto diagram and cause-and-effect analysis), the process was examined with the aim of reducing failures and standardizing a replicable protocol. The results indicate that the model based on nutrient solution and gradual environmental adaptation proved to be the most efficient, while also providing critical insights for the development of a quality management system applied to seedling production.

Keywords: *Avelós, quality management, processes, standardization, rooting.*

1. Introdução

O avelós apresenta relevância científica devido ao fornecimento de um látex e compostos bioativos com potencial de aplicação medicinal e remediação ambiental (Mali, Panchal, 2017; Vieira *et al*, 2025). Com isso, o desenvolvimento de técnicas eficientes de produção de mudas permite inferir a viabilidade técnico-econômica na elaboração de uma cadeia produtiva de avelós com o fito de desenvolver agente citológico a custo acessível na região norte do Brasil.

O avelós apresenta elevado potencial de interesse científico e socioeconômico devido à presença de látex com compostos bioativos e às possibilidades de aplicação em diferentes áreas, incluindo usos farmacológicos e ambientais. Dessa forma, torna-se relevante investigar estratégias acessíveis de correção e fertilização do solo utilizando materiais comuns e de fácil obtenção, como casca de ovo, calcário dolomítico, ureia e caroço de açaí, buscando alternativas economicamente viáveis e sustentáveis para a produção de mudas.

Neste contexto, considerando a capacidade de regeneração, a propagação de mudas por estacas é utilizada por possibilitar maior padronização e uniformidade genética. Contudo, uma série de fatores podem afetar o enraizamento inicial das mudas, tais como: manejo hídrico, tipo de substrato e disponibilidade de nutrientes (Orlanda, Vale, 2015; Mali, Panchal, 2017).

Ao adotar o processo de produção de mudas como um sistema produtivo, pode-se mapear a variabilidade, falhas operacionais e desperdícios. Nesse viés, aderir indicadores de desempenho, padronizar a operação e aplicar melhorias contínuas, é uma estratégia para reduzir perdas e aumentar a estabilidade do processo. Face ao exposto, por meio da implementação de práticas associadas ao Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e do ciclo PDCA, o estudo objetiva avaliar o processo experimental de enraizamento de estacas de avelós (Orsine, Pereira, 2023), visando contribuir para a formulação de um modelo de produção de mudas mais eficiente.

2. Referencial teórico

2.1. Avelós (*Euphorbia tirucalli* L.)

A *Euphorbia tirucalli* L, popularmente conhecida como avelós, pertence à família Euphorbiaceae e é uma espécie amplamente encontrada em regiões tropicais e subtropicais. Caracteriza-se por apresentar caule suculento e ramificado, com ramos cilíndricos de coloração verde, folhas reduzidas e crescimento predominantemente vegetativo (Mali; Panchal, 2017). A planta vem sendo estudada em diferentes contextos científicos devido ao seu potencial fitoquímico e às aplicações associadas ao uso medicinal e biotecnológico, o que

justifica o interesse crescente em pesquisas relacionadas ao cultivo e manejo dessa espécie (Silva *et al.*, 2025).

Essa espécie apresenta grande capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, sendo frequentemente descrita como uma planta rústica, tolerante à seca e capaz de se desenvolver em ambientes com baixa disponibilidade hídrica e solos com menor fertilidade (Mali; Panchal, 2017; Abdel-Aty *et al.*, 2019).

Neste contexto, a propagação vegetativa por estacas é uma técnica frequentemente utilizada para produção de mudas por possibilitar maior uniformidade genética e reduzir o tempo de obtenção de plantas estabelecidas. Apesar da resistência atribuída à espécie, o enraizamento inicial pode ser sensível a variações no manejo, especialmente em relação à umidade, luminosidade e condições do meio de cultivo. Assim, mesmo para plantas adaptadas a ambientes secos, a fase inicial de desenvolvimento exige cuidados específicos, principalmente quando o cultivo ocorre em períodos de alta pluviosidade.

Além disso, a produção de mudas pode ser compreendida como um processo que depende de organização e padronização, sendo comum que viveiros adotem práticas de controle operacional e monitoramento para reduzir perdas e melhorar a qualidade final do material produzido (Orsine; Pereira, 2023). A aplicação de ferramentas da qualidade no contexto agrícola vem sendo discutida como uma estratégia útil para identificar falhas recorrentes e priorizar melhorias em operações produtivas, como demonstrado em abordagens baseadas em Pareto e monitoramento de processos (Voltarelli, 2023).

Nesse sentido, a Engenharia de Produção tem por premissa intrínseca promover melhorias e contribuições ao oferecer métodos para interpretar o cultivo como um processo produtivo com entradas, etapas e saídas, no qual falhas podem ser tratadas como perdas operacionais. Ferramentas como o ciclo PDCA, os indicadores de desempenho e os princípios de Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) são frequentemente utilizados para reduzir variabilidade e garantir maior estabilidade nos resultados (Orsine; Pereira, 2023).

Soma-se ao tema a questão do monitoramento contínuo e o uso de ferramentas digitais na agricultura, cujos benefícios têm sido apontados como relevantes para acompanhar variáveis críticas e apoiar a tomada de decisão em tempo real, favorecendo a melhoria do processo de plantio, manejo e colheita das culturas e da respectiva cadeia produtiva (Syngenta Digital, 2023).

3. Metodologia

3.1. Caracterização do estudo

A pesquisa realizada é caracterizada como bibliográfica, experimental e de abordagem quantitativa. Lakatos e Marconi (2003) definem a pesquisa bibliográfica como um apanhado geral relacionado aos principais trabalhos que tenham abordado o tema, considerados relevantes por fornecerem informações atualizadas. Gil (2002) destaca que a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, o que possibilita ao pesquisador acesso a ampla gama de informações, que dificilmente seriam obtidas por meio de pesquisa direta.

Gil (2002) estabelece que a pesquisa experimental determina um objeto de estudo, sendo necessário selecionar as variáveis com capacidade de influenciar o objeto, assim como os mecanismos de controle e de observação para fins de registro dos efeitos que a variável produz no objeto. E quanto a abordagem quantitativa, Gerhardt e Silveira (2009) apontam para o fato de se recorrer à linguagem matemática para fins de descrever os fatores causais dos fenômenos investigados e as relações entre as variáveis, estando centrada na objetividade.

Todos os procedimentos foram executados no Campus da Universidade Federal do Pará (UFPA), localizada na região do Baixo Tocantins do estado do Pará, no período compreendido entre outubro de 2025 a janeiro de 2026, no qual os experimentos foram estruturados de forma progressiva, mediante análise das seguintes variáveis: composição do solo, periodicidade de irrigação, tipo de recipiente para cultivo, exposição a luz solar e tempo de observação. Tal abordagem encontra fundamento enquanto boa prática de melhoria contínua, no qual se associam conceitos voltados para sistemas de gestão e controle de qualidade aplicados ao contexto produtivo analisado (Orsine; Pereira, 2023).

Neste íterim, as amostras utilizadas foram coletadas no campus da UFPA em Abaetetuba. Para o corte e preparo do material vegetal, utilizou-se tesoura de poda e luvas como Equipamento de Proteção Individual (EPI), considerando a presença de látex tóxico característico da espécie. Os estacas foram selecionados visualmente conforme integridade e tamanho, sendo as amostras cortadas na junção do colmo para fins de manutenção da integridade, o que levou ao registro de tamanhos distintos de estacas utilizados no processo de cultivo controlado.

Consigne ao tema, o processo foi dividido em quatro amostras, como mostra o quadro 1, desde o enraizamento, com lote padrão de 30 estacas por parametrização.

Quadro 1 – Parametrização das variáveis analisadas no processo de cultivo do avelós

Modelo	1	2	3	4
Meio De Cultivo	Terra + areia 2:1	Terra + areia 2:1	Água + NPK 1 L : 7 mL	Água + NPK 1 L : 7 mL
Irrigação	Borrifação diária	Reposição semanal	Reposição semanal	Reposição semanal
Recipiente	Papelão (cuba de ovo)	Papelão (cuba de ovo)	Copo descartável transparente	Recipiente de vidro
Irradiação Solar	Sol parcial 10h - 14h	Sol parcial 10h - 14h	Meia sombra 10h - 14h	Meia sombra 10h - 14h
Tempo De Observação	Duas semanas	Dois meses	Dois meses	Um mês

Fonte: Autores (2026)

Em todas as etapas, as mudas permaneceram expostas às condições edafoclimáticas da região, incluindo a incidência de chuvas e períodos de insolação. A identificação e organização dos recipientes foram realizadas com marcação manual, garantindo rastreabilidade mínima e facilitando o acompanhamento do experimento (Pimentel, 2023).

Para avaliar o desempenho do processo, foram considerados os indicadores quantitativos associados à qualidade do resultado: taxa de sobrevivência, taxa de enraizamento, taxa de brotação, taxa de apodrecimento, crescimento de raízes e brotos (em centímetros). As medições foram realizadas por observação direta e registro manual. O uso de indicadores é compatível com abordagens de monitoramento agrícola, que destacam a importância do acompanhamento contínuo para controle de qualidade e melhoria de resultados (Syngenta Digital, 2023).

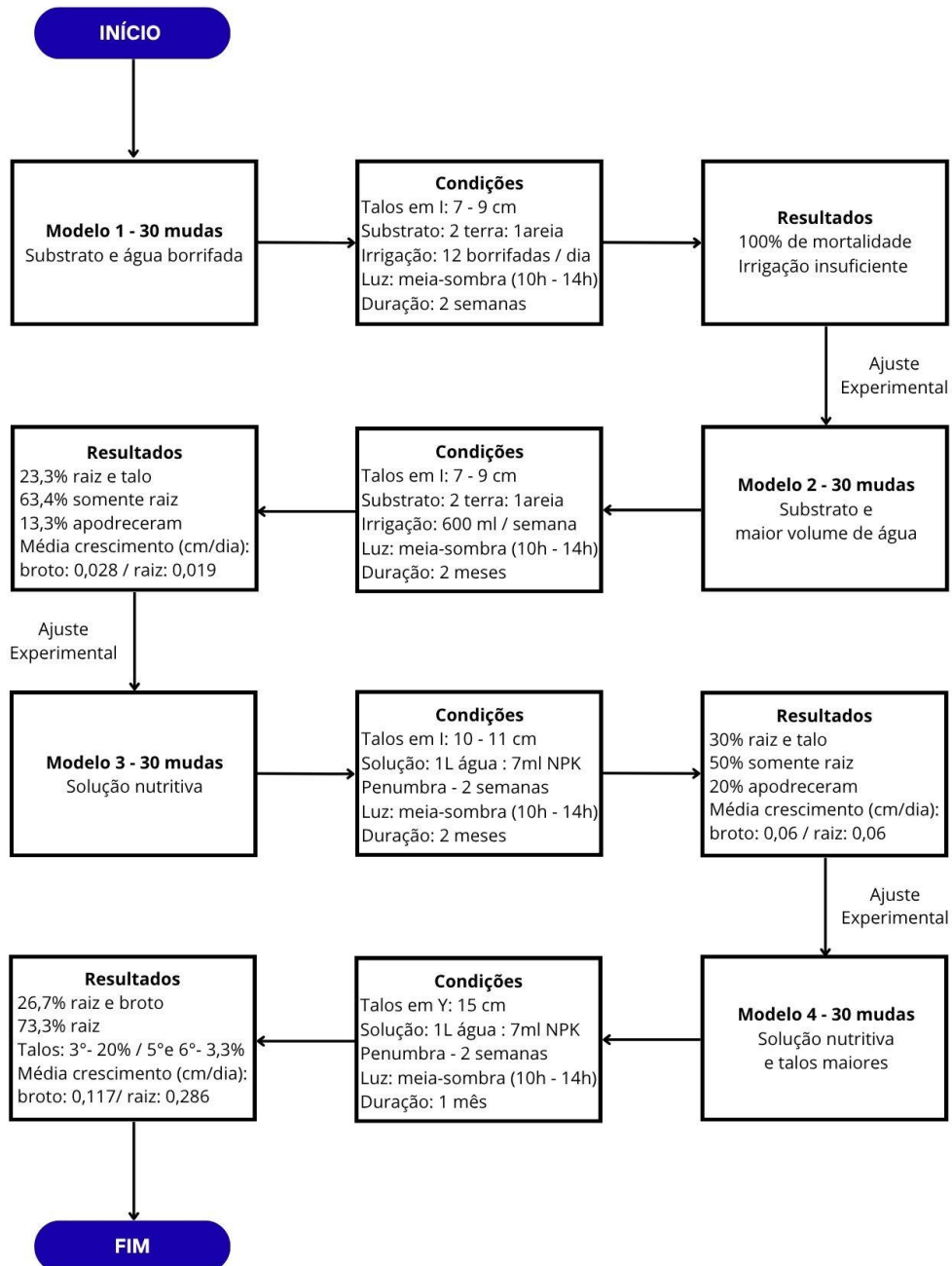
Neste íterim, o ciclo PDCA foi utilizado como estrutura lógica para compreender as mudanças realizadas a cada modelo, considerando que o processo foi ajustado conforme as falhas observadas. A análise de causa e efeito foi aplicada para organizar os fatores críticos relacionados às perdas e ao desempenho do enraizamento.

Além disso, utilizou-se o princípio de Pareto, para priorização das falhas mais relevantes, conforme aplicação recomendada em operações agrícolas para melhoria da qualidade (Voltarelli, 2023). A condução do experimento também seguiu princípios de padronização e rastreabilidade associados a sistemas de gestão da qualidade (Orsine; Pereira, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Evolução do desempenho ao longo dos modelos

Figura 1 - Sequência Do Processo De Execução Do Procedimento Experimental Adotado



Fonte: Autores (2026)

Conforme observado na figura 1, foram executadas 04 modelos de parametrização de forma sequenciada e os resultados evidenciaram a evolução no desempenho do processo de enraizamento ao longo do processo estabelecido. No modelo de cultivo 1, foi registrada mortalidade total das estacas (30/30) em aproximadamente duas semanas, sem ocorrência de brotação ou enraizamento. Apesar de haver um padrão de irrigação definido, o modelo de

cultivo empregado não foi suficiente para manter condições adequadas de umidade na base das estacas, comprometendo completamente o processo.

Pelo modelo de cultivo 2, observou-se aumento significativo no enraizamento, com 86,7% das estacas (26/30) apresentando emissão radicular. Entretanto, a brotação foi baixa (23,3%; 7/30) e ocorreu apodrecimento em 13,3% das mudas (4/30). Esses resultados sugerem que o aumento do volume de água favoreceu a formação inicial de raízes, porém o excesso de umidade no substrato pode ter criado condições desfavoráveis para o desenvolvimento saudável, aumentando a incidência de deterioração do tecido vegetal.

Considerando o modelo de cultivo 3, ao adotar meio aquoso com solução nutritiva, foi possível observar maior vigor no desenvolvimento. Nesta condição, 50% das estacas (15/30) apresentaram formação de raízes e 30% (9/30) apresentaram raízes e brotos nos primeiros 15 dias. Contudo, foram registradas perdas de 20% das mudas (6/30), estando tal limite dentro de níveis toleráveis, considerando as condições edafoclimáticas às quais o avelós está sujeito. Em tempo, notou-se melhora no crescimento radicular e vegetativo quando comparado ao cultivo em substrato sólido.

Outrossim, o modelo de cultivo 4 apresentou o melhor desempenho do processo, com 100% de sobrevivência e enraizamento de estacas (30/30), sem ocorrência de apodrecimento. Houve brotação extra em 26,7% (8/30), com brotos variando entre 1 e 4 cm, além de raízes com comprimento variando entre 2 e 13 cm, demonstrando que o processo adotado alcança melhores resultados ao combinar estratégias que envolvam a seleção de estacas maiores, manejo em meio aquoso e com adaptação gradual da amostra à luminosidade.

4.2. Crescimento radicular e brotação como indicadores de qualidade do processo

No modelo de cultivo 2, o crescimento das mudas foi limitado, com raízes próximas de 1 cm e brotos de até 1,5 cm ao final de dois meses. Já no Modelo de cultivo 3, as mudas apresentaram raízes com comprimento entre 2 e 6 cm e brotos com tamanhos entre 2 e 4 cm, sugerindo que a solução nutritiva contribuiu para melhor desenvolvimento inicial.

No modelo de cultivo 4, observou-se uma maior amplitude nos valores de crescimento, com raízes atingindo 13 cm e a identificação de estacas com mais de 01 broto em parte do lote. A seleção de estacas maiores pode ter influenciado diretamente esse desempenho, uma vez que estacas mais longas apresentam maior reserva energética e maior área de tecido vascular, o que favorece o processo regenerativo.

A utilização de indicadores objetivos permitiu acompanhar a evolução do processo e comparar modelos, contribuindo para uma análise mais clara das melhorias alcançadas. Essa prática é coerente com abordagens de monitoramento da qualidade agrícola, nas quais a mensuração contínua permite maior controle e melhor tomada de decisão (Syngenta Digital, 2023).

4.3. Priorização das falhas pelo princípio de Pareto

Ao analisar as perdas ocorridas durante as modelos, observou-se que dois fatores concentraram a maior parte dos problemas: mortalidade por déficit hídrico e apodrecimento por excesso de umidade. No modelo de cultivo 1, a mortalidade total foi associada principalmente à irrigação insuficiente para manter a base das estacas em condição favorável ao enraizamento. Nas modelos 2 e 3, o apodrecimento representou a falha mais significativa, possivelmente relacionado ao excesso de umidade e à presença de microrganismos no ambiente.

Dessa forma, o princípio de Pareto, permite compreender que poucas causas críticas foram responsáveis pela maior parte das falhas observadas. Essa lógica é utilizada em operações agrícolas para priorização de ações corretivas e melhoria de desempenho (Voltarelli, 2023). Assim, ao direcionar os ajustes principalmente para manejo hídrico e meio de cultivo, foi possível reduzir perdas e aumentar a estabilidade do processo.

O quadro 2 apresenta a aplicação do Diagrama de Pareto para identificar e priorizar as principais falhas observadas no processo experimental de enraizamento do avelós. Verifica-se que a mortalidade total concentrou a maior frequência de ocorrência, representando 75% das falhas registradas, evidenciando-se como o principal fator crítico do processo. Em seguida, o apodrecimento em solução nutritiva correspondeu a 15%, enquanto o apodrecimento em substrato representou 10%, totalizando 100% das ocorrências.

Quadro 2 - Aplicação No Diagrama De Pareto

Ordem	Falha	Ocorrência	% Individual	% Acumulado
1	Mortalidade total	30	75%	75%
2	Apodrecimento em solução nutritiva	6	15%	90%
3	Apodrecimento em substrato	4	10%	100%

Fonte: Autores (2026)

Dessa forma, o Pareto demonstra que a maior parte dos problemas está associada a poucas causas principais, indicando que ações corretivas voltadas especialmente à redução da mortalidade e ao controle da umidade poderiam gerar maior impacto na melhoria e estabilidade do processo.

4.4. Análise de causa e efeito aplicada às falhas do enraizamento

A análise de causa e efeito permitiu organizar os fatores associados às falhas do processo em categorias operacionais. No fator “método”, destacaram-se as variações no manejo hídrico e no controle de exposição solar. No fator “material”, a qualidade das estacas demonstrou impacto relevante, especialmente quanto ao tamanho e ao ponto de corte. No fator “meio ambiente”, a exposição direta ao clima local, caracterizado por alta pluviosidade no período, exigiu maior atenção à drenagem e ao controle do excesso de água.

Também foi possível perceber que o tipo de recipiente utilizado influenciou o acompanhamento do processo, pois recipientes transparentes e de vidro facilitaram a observação e o controle das condições internas, contribuindo para ajustes mais rápidos. Essa estruturação reforça a importância de controle operacional e padronização na produção de mudas, conforme recomendado em práticas de viveiro (Pimentel, 2023).

4.5. Aplicação do PDCA e consolidação do protocolo experimental

A evolução das modelos pode ser interpretada de forma consistente com o ciclo PDCA. No modelo de cultivo 1, o processo foi executado com padrão inicial, porém resultou em falha total, o que permitiu identificar a necessidade de revisão do manejo hídrico. No modelo de cultivo 2, a ação corretiva aumentou o volume de irrigação, resultando em maior enraizamento, porém com aumento de perdas por apodrecimento.

A modelo 3 promoveu uma mudança estrutural ao substituir o substrato sólido por solução nutritiva, gerando maior vigor no desenvolvimento, embora ainda com perdas. Por fim, o modelo 4 consolidou o método mais eficiente ao integrar solução nutritiva, seleção de estacas maiores e controle gradual de luminosidade, eliminando o apodrecimento e garantindo enraizamento total.

Esse processo de melhoria contínua se relaciona aos princípios de SGQ, principalmente por envolver análise baseada em indicadores e padronização progressiva do método (Orsine; Pereira, 2023).

Assim, os resultados obtidos permitiram estabelecer um protocolo preliminar recomendado: seleção de estacas superiores a 15 cm, preferencialmente bifurcadas; manutenção inicial em solução nutritiva com NPK diluído; permanência em penumbra por aproximadamente duas semanas; exposição gradual ao sol; reposição semanal do volume de água; e monitoramento contínuo para evitar sinais de apodrecimento.

5. Considerações finais

O estudo demonstrou que o processo de enraizamento de estacas de *Euphorbia tirucalli* pode ser significativamente aprimorado quando conduzido com padronização e aplicação de princípios de melhoria contínua. A evolução entre as modelos evidenciou que o manejo hídrico e o meio de cultivo foram variáveis críticas para o sucesso do processo, sendo a modelo 4 a que apresentou maior estabilidade, com 100% de sobrevivência e enraizamento e ausência de perdas por apodrecimento.

A utilização de indicadores de desempenho permitiu acompanhar a evolução do experimento de forma objetiva e facilitou a identificação das falhas prioritárias. Além disso, a análise baseada no princípio de Pareto e na lógica de causa e efeito demonstrou que poucas causas principais foram responsáveis pela maior parte das perdas observadas, especialmente relacionadas ao controle de umidade e às condições do meio de cultivo.

Conclui-se que a abordagem baseada em ferramentas da Engenharia de Produção e da qualidade foi adequada para orientar a melhoria do processo experimental, permitindo propor um protocolo padronizado preliminar para produção de mudas. Esse protocolo contribui para reduzir perdas, aumentar a previsibilidade do enraizamento e fortalecer a repetibilidade do processo, servindo como base para estudos futuros voltados ao cultivo em escala e à avaliação de tratamentos nutricionais e corretivos de solo.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-ATY, A. M. et al. *Ficus carica, Ficus sycomorus and Euphorbia tirucalli latex extracts: Phytochemical screening, antioxidant and cytotoxic Properties*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. 101199, 2019.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org). *Métodos de Pesquisa*. **Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009**.
- GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002, 176 p.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2003, 310 p.
- MALI, P. Y.; PANCHAL, S. S. *Euphorbia tirucalli L.: Review on morphology, medicinal uses, phytochemistry and pharmacological activities*. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 7, p. 603–613, 2017.
- ORSINE, J. V. C.; PEREIRA, L. F. *Ferramentas de controle de qualidade e sua importância no setor industrial alimentício*. **Revista Biodiversidade**, v. 22, n. 1, p. 145, 2023.
- PIMENTEL, Rubia. *Controle da qualidade em viveiro de mudas*. **PariPassu**, 10 jan. 2023. Disponível em: <https://www.paripassu.com.br/blog/viveiro-de-mudas>. Acesso em: 09 fev. 2026.
- SILVA, V. E. S. et al. *Prospecção fitoquímica dos extratos de Euphorbia tirucalli (Euphorbiaceae) como produto natural para a saúde*. **Arquivos de Saúde**, v. 29, n. 1, 2025.
- SYNGENTA DIGITAL. *O monitoramento da qualidade de plantio com o digital*. **Syngenta Digital**, [s.d.]. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/qualidade-de-plantio/>. Acesso em: 09 fev. 2026.
- VIEIRA, C. L. et al. *Potencial farmacológico da Euphorbia tirucalli L.: uma revisão integrativa das ações antifúngicas, antineoplásica, antioxidante e anti-inflamatória*. *Revista Acadêmica Online*, v.11, n. 58, p. 01-25, 2025.
- VOLTARELLI, Carla Segatto Strini Paixão. *Gestão da qualidade: como melhorar suas operações agrícolas utilizando ferramentas de qualidade - Diagrama de Pareto*. **Revista Canavieiros**, 29 dez. 2020. Disponível em: <https://www.revistacanavieiros.com.br/gestao-da-qualidade-como-melhorar-suas-operacoes-agricolas-utilizando-ferramentas-de-qualidade-diagrama-de-pareto>. Acesso em: 09 fev. 2026.