

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE MUDAS DE IPÊ-AMARELO A DIFERENTES SUBSTRATOS E APLICAÇÕES DE HIDROGEL

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF YELLOW IPÊ SEEDLINGS TO DIFFERENT SUBSTRATES AND HYDROGEL APPLICATIONS

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE PLÁNTULAS DE IPÊ AMARILLO A DIFERENTES SUBSTRATOS Y APLICACIONES DE HIDROGEL

Teonis Batista da Silva¹
Ângelo Lima Rocha²
Maria Zayra Andrade Guimarães³
Matheus Rufino Fernandes Gama⁴
Josieli Lima da Silva⁵
Jaiclenes de Freitas⁶

RESUMO: Neste presente estudo, Objetivou-se avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*) submetidas a diferentes composições de substrato e condicionadores hídricos, com ênfase no efeito de dois hidrogéis comerciais sobre o crescimento das plantas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal do Piauí, em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram avaliados substrato comercial, substrato comercial + solo, solo + hidrogel comercial A, solo + hidrogel comercial B e solo (controle). Aos 44 dias, foram determinadas a altura, o diâmetro do caule, o número de folhas e a massa fresca do sistema radicular. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Não foram observadas diferenças significativas para altura e número de folhas. O diâmetro do caule apresentou efeito significativo dos tratamentos ($p = 0,003$), com maior média no substrato comercial (3,13 mm). A massa fresca da raiz também apresentou efeito significativo pela ANOVA ($p = 0,039$), com maior média no substrato comercial (13,40 g). Conclui-se que o substrato comercial proporcionou o melhor desempenho inicial das mudas, enquanto os hidrogéis apresentaram potencial como condicionadores hídricos.

Palavras-chave: Produção de mudas. Manejo hídrico. *Handroanthus serratifolius*.

¹ Professor da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutorando em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Agronomia, com ênfase em Horticultura Irrigada, pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Especialista em Agronomia pela Faculdade FAVENI. Engenheiro Agrônomo pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), Campus Petrolina Zona Rural.

² Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

³ Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

⁴ Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

⁵ Doutoranda em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

⁶ Mestrando em Ensino de Biologia pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI).

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the initial development of yellow ipê seedlings (*Handroanthus serratifolius*) grown under different substrate compositions and water conditioners, with emphasis on the effects of two commercial hydrogels on plant growth. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Piauí, Brazil, using a completely randomized design with five treatments and five replicates. The treatments consisted of commercial substrate, commercial substrate + soil, soil + commercial hydrogel A, soil + commercial hydrogel B, and soil as the control. After 44 days, plant height, stem diameter, number of leaves, and fresh root mass were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and, when significant, means were compared using Tukey's test at 5% probability. No significant differences were observed for plant height or number of leaves. Stem diameter was significantly affected by the treatments ($p = 0.003$), with the highest mean observed in seedlings grown in commercial substrate (3.13 mm). Fresh root mass also showed a significant effect according to ANOVA ($p = 0.039$), with the highest mean recorded for commercial substrate (13.40 g). It was concluded that commercial substrate provided the best overall initial performance of the seedlings, whereas the hydrogels showed potential as water conditioners.

Keywords: Seedling production. Water management. *Handroanthus serratifolius*.

RESUMEN: Este estudio tuvo como objetivo evaluar el desarrollo inicial de plántulas de ipê amarillo (*Handroanthus serratifolius*) cultivadas en diferentes composiciones de sustrato y acondicionadores hídricos, con énfasis en los efectos de dos hidrogeles comerciales sobre el crecimiento de las plantas. El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Federal de Piauí, Brasil, bajo un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos consistieron en sustrato comercial, sustrato comercial + suelo, suelo + hidrogel comercial A, suelo + hidrogel comercial B y suelo como control. Después de 44 días, se evaluaron la altura de las plantas, el diámetro del tallo, el número de hojas y la masa fresca de las raíces. Los datos se sometieron a análisis de varianza y, cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. No se observaron diferencias significativas para la altura ni para el número de hojas. El diámetro del tallo fue significativamente afectado por los tratamientos ($p = 0,003$), con el mayor promedio en las plántulas cultivadas en sustrato comercial (3,13 mm). La masa fresca de las raíces también presentó un efecto significativo según el ANOVA ($p = 0,039$), con el mayor promedio en el sustrato comercial (13,40 g). Se concluye que el sustrato comercial proporcionó el mejor desempeño inicial de las plántulas, mientras que los hidrogeles mostraron potencial como acondicionadores hídricos.

Palabras clave: Poducción de plântulas. Manejo hídrico. *Handroanthus serratifolius*.

INTRODUÇÃO

A produção de mudas de espécies florestais nativas constitui uma etapa fundamental para o estabelecimento de programas de reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, arborização e conservação da biodiversidade. O sucesso dessas iniciativas está diretamente relacionado à obtenção de mudas com elevada qualidade morfofisiológica, capazes de apresentar

maior sobrevivência, crescimento e adaptação após o transplântio para as condições de campo. Nesse contexto, o manejo adequado durante a fase de viveiro é essencial para a formação de plantas vigorosas e mais adaptadas às condições ambientais, contribuindo para o estabelecimento eficiente no campo (SOUZA, 2023; LAMHAMED I *et al.*, 2023).

Entre as espécies florestais nativas brasileiras de importância ecológica e silvicultural destaca-se o ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*), espécie arbórea amplamente reconhecida por seu valor ecológico, ornamental e silvicultural, com ampla distribuição no território brasileiro, desde a região Amazônica até o Sul do país (CORREIA *et al.*, 2023). A espécie apresenta potencial para utilização em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, inclusive em ambientes caracterizados por condições de salinidade e baixa fertilidade do solo (DA CRUZ SILVA *et al.*, 2023). Nesse contexto, o aprimoramento das técnicas de produção de mudas torna-se relevante para favorecer o crescimento inicial, a qualidade e o estabelecimento das plantas, especialmente durante a fase de formação em viveiro (SARZI, 2006).

Entre os fatores que condicionam a qualidade das mudas, o substrato exerce papel central por determinar as condições físicas e químicas do ambiente radicular e, conseqüentemente, influenciar o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. Propriedades como capacidade de retenção de água, porosidade e composição química interferem na disponibilidade de água, na aeração e na disponibilidade de nutrientes, constituindo fatores determinantes para o crescimento e a formação de mudas florestais de qualidade (NASCIMENTO, 2022; MARIOTTI *et al.*, 2023).

Além das características do substrato, a disponibilidade de água no ambiente radicular constitui um dos principais fatores limitantes ao crescimento inicial das mudas. Dessa forma, estratégias que favoreçam a retenção e o uso eficiente da água podem contribuir para otimizar o manejo hídrico e aumentar a eficiência da produção em viveiro (KLEIN; KLEIN, 2015; BUENO *et al.*, 2020; JEONG *et al.*, 2024). Nesse sentido, o emprego de condicionadores hídricos tem sido investigado como uma alternativa para melhorar a disponibilidade de água às plantas, especialmente em situações nas quais a frequência de irrigação e as perdas hídricas podem comprometer o desenvolvimento das mudas.

Entre esses condicionadores, os hidrogéis destacam-se por serem polímeros tridimensionais hidrofílicos capazes de absorver e armazenar grandes volumes de água em sua

estrutura, disponibilizando-a gradualmente à medida que ocorre a redução da umidade do substrato (AGBNA *et al.*, 2025). Essa propriedade pode favorecer a manutenção da umidade no ambiente radicular, contribuindo para reduzir a frequência de irrigação e minimizar perdas de água por evaporação e percolação profunda (MALIK *et al.*, 2022).

Embora os hidrogéis sintéticos apresentem potencial para melhorar o manejo hídrico durante a produção de mudas, a busca por alternativas mais sustentáveis tem estimulado o desenvolvimento de materiais biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis. Nesse contexto, hidrogéis à base de amido, apresentam potencial de aplicação agrícola devido à capacidade de retenção de água associada à utilização de matéria-prima renovável e ao menor impacto ambiental em comparação com materiais sintéticos convencionais (AZEVEDO *et al.*, 2018; HERNANDEZ, 2025). A avaliação desses materiais em espécies florestais nativas pode, portanto, contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de manejo hídrico durante a produção de mudas.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*) submetidas a diferentes composições de substrato e condicionadores hídricos, comparando os efeitos de dois hidrogéis comerciais sobre o crescimento e o estabelecimento das mudas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Importância do ipê-amarelo e produção de mudas florestais

A produção de mudas florestais nativas é uma etapa essencial para o sucesso de projetos de recuperação ambiental, reflorestamento, arborização e implantação de sistemas agroflorestais. A qualidade das mudas influencia diretamente a sobrevivência, o crescimento inicial e a adaptação das plantas após o transplante para o campo, principalmente em ambientes sujeitos a limitações hídricas, nutricionais e climáticas. Nesse sentido, estudos recentes destacam que o uso de espécies nativas em sistemas sustentáveis depende não apenas da escolha correta da espécie, mas também de práticas adequadas de produção e manejo desde a fase de viveiro (SOUZA, 2023).

Entre as espécies florestais nativas com potencial para uso em projetos ambientais e paisagísticos, destacam-se os ipês, pertencentes ao gênero *Handroanthus*. Essas espécies

apresentam importância ecológica, ornamental e silvicultural, sendo valorizadas pela floração intensa, pela contribuição à biodiversidade e pelo potencial de utilização em programas de recomposição vegetal. Em estudos com espécies do gênero *Handroanthus*, observa-se que fatores ambientais e de cultivo interferem diretamente no crescimento inicial das mudas, reforçando a necessidade de conhecer as condições mais adequadas para sua produção em viveiro (ANDRADE et al., 2021).

O ipê-amarelo apresenta destaque entre as espécies nativas por sua ampla utilização em arborização urbana, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Apesar disso, seu desenvolvimento inicial pode ser influenciado por fatores como substrato, nutrição, disponibilidade hídrica e condições ambientais. Sarzi (2006), em estudo específico com mudas de ipê-amarelo, demonstrou que a produção da espécie está relacionada às características do substrato e ao manejo nutricional, evidenciando a importância de pesquisas voltadas à melhoria das técnicas de produção dessa espécie.

Além da escolha da espécie, a fase de produção das mudas exige atenção às características morfológicas que indicam vigor e qualidade, como altura, diâmetro do coleto, número de folhas, massa seca e desenvolvimento radicular. Esses parâmetros são importantes porque ajudam a estimar a capacidade da muda de resistir às condições de campo e manter crescimento satisfatório após o plantio. Estudos recentes com espécies florestais nativas reforçam que o crescimento inicial é fortemente influenciado pelo ambiente de produção e pelo tipo de substrato utilizado (NASCIMENTO, 2022).

Nesse contexto, a busca por alternativas que favoreçam a produção de mudas de melhor qualidade torna-se fundamental, especialmente quando se trata de espécies destinadas à recuperação ambiental. O uso de substratos adequados e tecnologias capazes de melhorar a disponibilidade de água e nutrientes pode contribuir para maior eficiência na produção de mudas florestais. Assim, compreender os fatores que interferem no crescimento inicial do ipê-amarelo é importante para definir práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes na fase de viveiro.

Qualidade de mudas florestais

A obtenção de mudas florestais de qualidade representa uma das principais etapas para garantir o sucesso de programas de reflorestamento, restauração ecológica e implantação de

sistemas produtivos sustentáveis. O desempenho das plantas em campo está diretamente relacionado às condições em que foram produzidas no viveiro, visto que mudas com maior vigor apresentam maior capacidade de sobrevivência e adaptação às condições ambientais após o transplântio (SOUZA, 2023).

A qualidade das mudas pode ser determinada por diferentes características morfológicas utilizadas como indicadores do crescimento e do equilíbrio fisiológico da planta. Parâmetros como altura da parte aérea, diâmetro do coleto, desenvolvimento radicular, número de folhas e produção de biomassa são amplamente empregados para avaliar o potencial de estabelecimento das espécies florestais. Esses indicadores permitem identificar mudas mais resistentes e com melhores condições para enfrentar fatores limitantes após o plantio (ANDRADE et al., 2021).

O desenvolvimento adequado das mudas depende de um conjunto de fatores relacionados ao ambiente de produção, incluindo características do substrato, disponibilidade de água, nutrição mineral e condições climáticas. De acordo com Nascimento (2022), estratégias que proporcionem melhores condições físicas e nutricionais durante a produção das mudas são fundamentais para favorecer o crescimento inicial de espécies florestais nativas e aumentar a eficiência dos sistemas de produção.

Entre os parâmetros avaliativos, o crescimento da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicular possuem grande importância, pois indicam a capacidade da planta em explorar o ambiente e absorver água e nutrientes. A relação equilibrada entre raiz e parte aérea é essencial para garantir maior adaptação das mudas após o plantio, especialmente em locais onde as condições ambientais podem limitar seu desenvolvimento (SANTOS, 2015).

Além disso, tecnologias aplicadas durante a fase de viveiro vêm sendo estudadas como alternativas para melhorar o padrão das mudas produzidas. O uso de condicionadores de solo e materiais capazes de favorecer a disponibilidade de água e nutrientes pode contribuir para maior crescimento, melhor formação radicular e aumento da resistência das plantas em condições adversas (HERNANDEZ, 2025).

Dessa forma, a avaliação da qualidade das mudas florestais é indispensável para definir técnicas eficientes de produção. No caso do ipê-amarelo, compreender os fatores que interferem no desenvolvimento inicial permite estabelecer práticas de manejo que favoreçam a obtenção de mudas mais vigorosas e adequadas para utilização em projetos ambientais e paisagísticos.

Influência dos substratos crescimento inicial das mudas no

O substrato utilizado na produção de mudas florestais exerce papel fundamental no desenvolvimento inicial das plantas, pois atua como meio de sustentação do sistema radicular e influencia diretamente processos relacionados à absorção de água, disponibilidade de nutrientes e crescimento vegetal. Para espécies nativas, a escolha adequada do substrato é um fator determinante para a formação de mudas vigorosas e com maior capacidade de estabelecimento após o plantio (NASCIMENTO, 2022).

A utilização de substratos alternativos vem sendo estudada como uma estratégia para melhorar a eficiência dos sistemas de produção de mudas, reduzir custos e promover maior sustentabilidade. Esses materiais podem apresentar características físicas e químicas favoráveis ao crescimento das plantas, desde que proporcionem equilíbrio adequado entre retenção de água, aeração e disponibilidade nutricional (NASCIMENTO, 2022).

A qualidade do substrato está relacionada principalmente às suas propriedades físicas, como porosidade, capacidade de retenção hídrica e estrutura, uma vez que essas características interferem diretamente no desenvolvimento das raízes. Um sistema radicular bem desenvolvido favorece maior exploração do volume de substrato, aumentando a absorção de água e nutrientes e contribuindo para o crescimento da parte aérea das mudas (SANTOS, 2015).

Em espécies do gênero *Handroanthus*, estudos demonstram que as condições de cultivo durante a fase de viveiro possuem influência significativa sobre o crescimento inicial das mudas. Andrade et al. (2021) destacam que fatores como tipo de substrato, fertilização, luminosidade e ambiente de produção precisam ser considerados para obtenção de mudas com melhores características de desenvolvimento.

No caso específico do ipê-amarelo, Sarzi (2006) observou que diferentes composições de substratos e soluções nutritivas podem alterar o desempenho das mudas, evidenciando que o manejo adequado do meio de cultivo é essencial para melhorar a qualidade da espécie durante a fase inicial de crescimento.

Além dos substratos tradicionais, a busca por alternativas sustentáveis tem ganhado destaque na produção de espécies florestais. A associação de diferentes materiais pode melhorar características importantes do substrato, favorecendo maior equilíbrio entre disponibilidade

hídrica e aeração, aspectos fundamentais para o desenvolvimento das mudas (NASCIMENTO, 2022).

Dessa forma, avaliar diferentes composições de substrato torna-se uma ferramenta importante para definir estratégias eficientes na produção de mudas de ipê-amarelo. A comparação entre solo, substrato comercial e suas combinações possibilita identificar condições capazes de favorecer o crescimento inicial, contribuindo para a formação de plantas com maior qualidade e potencial de sobrevivência em campo.

Disponibilidade hídrica e retenção de água no substrato

A disponibilidade hídrica é um dos fatores que mais interferem no crescimento inicial de mudas florestais, pois a água participa de processos essenciais como absorção de nutrientes, expansão celular, fotossíntese e transporte de substâncias na planta. Em espécies florestais nativas, a limitação de água pode reduzir o crescimento, comprometer o desenvolvimento radicular e afetar a qualidade final das mudas destinadas ao plantio em campo (NASCIMENTO, 2022).

A capacidade do substrato em reter e disponibilizar água está relacionada às suas características físicas, como porosidade, estrutura e composição dos materiais utilizados. Substratos adequados precisam apresentar equilíbrio entre retenção hídrica e aeração, pois o excesso de drenagem pode reduzir a água disponível, enquanto a baixa aeração pode prejudicar o crescimento das raízes (NASCIMENTO, 2022).

Nesse sentido, estudos voltados à produção de mudas têm buscado alternativas capazes de melhorar a disponibilidade hídrica no ambiente radicular. Fernandes (2020) destaca que hidrogéis produzidos a partir de polímeros naturais podem atuar como sistemas de retenção e liberação gradual de água, além de apresentarem potencial para aplicações agrícolas mais sustentáveis.

Os hidrogéis possuem estrutura tridimensional porosa, característica que permite absorver e armazenar água em sua rede polimérica. (2025) ressalta que essa propriedade de intumescimento é uma das principais razões para o uso desses materiais na agricultura, pois possibilita sua aplicação como condicionadores voltados ao controle da umidade no solo e no substrato.

Além dos hidrogéis sintéticos, materiais produzidos a partir de fontes renováveis vêm ganhando destaque por associarem retenção hídrica e menor impacto ambiental. Fernandes (2020) aponta que hidrogéis bionanocompósitos à base de amido e alginato apresentam potencial para aplicações agrícolas, especialmente em sistemas que buscam liberação controlada e maior eficiência no uso de insumos.

De forma semelhante, Hernandez (2025) afirma que hidrogéis à base de amido e nanocelulose apresentam potencial de aplicação agrícola devido à capacidade de absorção de água e às propriedades físico-químicas desses materiais. Isso demonstra que o uso de biopolímeros pode representar uma alternativa promissora para melhorar a disponibilidade hídrica em sistemas de produção vegetal.

Apesar do avanço dessas tecnologias, a retenção de água no solo e no substrato também depende de fatores básicos de manejo. Klein e Klein (2015) destacam que textura, estrutura, matéria orgânica e infiltração influenciam diretamente o armazenamento de água, sendo necessário considerar tanto as propriedades naturais do substrato quanto o uso de condicionadores hídricos.

Dessa forma, estratégias que aumentem a retenção e a disponibilidade de água no substrato são importantes para a produção de mudas florestais de melhor qualidade. No caso do ipê-amarelo, o uso de materiais capazes de melhorar a umidade próxima às raízes pode favorecer o crescimento inicial e contribuir para maior eficiência na fase de viveiro.

Uso de hidrogel na produção de mudas florestais

A utilização de hidrogéis na agricultura tem sido estudada como uma alternativa para melhorar a eficiência do uso da água, principalmente em sistemas de produção de mudas e em condições onde a disponibilidade hídrica pode limitar o crescimento vegetal. Esses materiais apresentam capacidade de absorver e armazenar água em sua estrutura, funcionando como condicionadores capazes de aumentar a permanência da umidade próxima ao sistema radicular (HERNANDEZ, 2025).

Os hidrogéis são formados por redes poliméricas tridimensionais com elevada capacidade de intumescimento, permitindo a absorção de grandes quantidades de água sem que ocorra sua dissolução. Essa característica possibilita que o material retenha água durante

períodos de maior disponibilidade e posteriormente disponibilize gradualmente para as plantas conforme ocorre redução da umidade no substrato (FERNANDES, 2020).

Na produção de mudas florestais, o uso desses polímeros pode contribuir para reduzir os efeitos causados pelo déficit hídrico, principalmente durante as fases iniciais de desenvolvimento, quando as plantas apresentam maior sensibilidade às condições ambientais. Estudos com polímeros hidroabsorventes demonstram que sua aplicação pode favorecer o estabelecimento das mudas por proporcionar melhores condições hídricas no ambiente radicular (BELLUCO, 2019).

A eficiência dos hidrogéis, entretanto, pode variar conforme fatores como espécie vegetal, tipo de substrato, concentração utilizada e condições ambientais. Em mudas de espécies florestais, a aplicação desses polímeros tem apresentado diferentes respostas relacionadas ao crescimento em altura, diâmetro do coleto, biomassa e desenvolvimento do sistema radicular (JARDIM e ROSA, 2026).

Em estudo avaliando o uso de hidrogel em mudas de *Eucalyptus urograndis*, Lopes et al. (2010) observaram que plantas cultivadas com o polímero apresentaram atraso no aparecimento de sintomas associados ao déficit hídrico, indicando maior capacidade de tolerância a períodos com menor disponibilidade de água. Esses resultados demonstram o potencial dos hidrogéis como ferramenta auxiliar no manejo hídrico durante a produção de mudas.

Além da retenção de água, os hidrogéis também vêm sendo estudados devido à possibilidade de atuarem como sistemas de liberação controlada de compostos agrícolas. Fernandes (2020) destaca que hidrogéis bionanocompósitos podem apresentar aplicações relacionadas à liberação gradual de insumos, contribuindo para maior eficiência no uso de recursos agrícolas e redução de perdas.

Apesar dos benefícios, a utilização desses materiais deve considerar que respostas positivas dependem da interação entre o polímero utilizado e as condições de cultivo. Dessa forma, estudos avaliando diferentes fontes e composições de hidrogel são importantes para identificar materiais mais eficientes e sustentáveis para aplicação na produção de mudas florestais (HERNANDEZ, 2025).

Nesse contexto, o uso de hidrogéis na produção de mudas de ipê-amarelo representa uma alternativa promissora para melhorar a disponibilidade hídrica durante a fase inicial de

crescimento, podendo contribuir para maior desenvolvimento das plantas e produção de mudas com melhores características para estabelecimento em campo.

MÉTODOS

Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação localizada na Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Ministro Petrônio Portella, no município de Teresina, Piauí. O estudo foi realizado no período de 19 de maio a 02 de julho de 2026, totalizando 44 dias de avaliação.

Material vegetal e implantação do experimento

Foram utilizadas mudas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*) adquiridas em viveiros comerciais localizados próximos à Universidade Federal do Piauí. Durante a aquisição, buscou-se selecionar mudas com características morfológicas semelhantes, visando maior uniformidade inicial do experimento. Entretanto, devido à disponibilidade nos viveiros, não foi possível obter mudas produzidas no mesmo período.

Após a aquisição, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 5 litros, contendo diferentes composições de substratos e condicionadores hídricos conforme cada tratamento avaliado.

11

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído por cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 unidades experimentais. Cada vaso contendo uma muda de ipê-amarelo foi considerado uma unidade experimental.

Os tratamentos avaliados foram:

- * T₁: Substrato comercial A;
- * T₂: Substrato comercial A+ solo, na proporção 1:1;
- * T₃: Solo + hidrogel comercial A;
- * T₄: Solo + hidrogel comercial B;
- * T₅: Solo (controle).

Nos tratamentos contendo hidrogel, foi utilizado 1 g do polímero por unidade experimental, totalizando 5 g de hidrogel comercial A e 5 g de hidrogel comercial B em seus respectivos tratamentos. Antes da aplicação, os hidrogéis foram previamente hidratados e posteriormente incorporados ao solo dos vasos. Distribuição inicial das mudas de ipê-amarelo em casa de vegetação (Figura 1)

Figura 1: Determinação da quantidade de hidrogel utilizada nos tratamentos, com aplicação de 1 g do polímero por unidade experimental antes da hidratação.



Fonte: Silva et al., 2026

Condução e manejo do experimento

Durante o período experimental, as mudas permaneceram em condições protegidas dentro da casa de vegetação. A irrigação foi realizada diariamente com auxílio de mangueira, buscando manter a aplicação de água da forma mais uniforme possível entre todos os tratamentos, evitando diferenças ocasionadas pelo manejo hídrico.

As plantas foram acompanhadas durante todo o período experimental para avaliação do crescimento inicial e resposta aos diferentes substratos e condicionadores utilizados. Distribuição inicial das mudas de ipê-amarelo em casa de vegetação (Figura 2).

Figura 2: Determinação da quantidade de hidrogel utilizada nos tratamentos, com aplicação de 1 g do polímero por unidade experimental antes da hidratação.



Fonte: Silva et al., 2026

Variáveis avaliadas

As avaliações biométricas foram realizadas quinzenalmente após a implantação do experimento. Foram avaliadas as seguintes variáveis:

- * altura da planta (cm);
- * diâmetro do caule (mm);
- * número de folhas.

Ao final do período experimental, realizou-se uma avaliação destrutiva das mudas para determinação do desenvolvimento radicular. Para isso, as plantas foram retiradas dos vasos, separadas e cortadas, sendo realizada a pesagem da massa fresca do sistema radicular.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Quando observada diferença significativa pelo teste F, as médias serão comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 44 dias após a implantação do experimento, observou-se que os diferentes substratos e condicionadores hídricos influenciaram de forma distinta o crescimento inicial das mudas de ipê-amarelo. Para a variável altura, a maior média foi observada no tratamento T₂, composto por substrato comercial A + solo, com 14,18 cm, seguido pelo T₁, com 12,54 cm, e pelo T₃, com 11,10 cm. Apesar dessa variação numérica, a análise de variância não indicou diferença significativa entre os tratamentos para altura das plantas (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultado da análise de variância (ANOVA) para as variáveis avaliadas em mudas de ipê-amarelo aos 44 dias após a implantação do experimento. Valores considerados significativos quando $p < 0,0$

Variável	p-valor	Interpretação
Altura da planta	0,144	Não significativo
Diâmetro do caule	0,003	Significativo
Número de folhas	0,839	Não significativo
Massa fresca da raiz	0,839	Significativo pela ANOVA

Fonte: Silva et al., 2026.

Esse resultado indica que, embora o T₂ tenha apresentado maior média de altura, a variação entre as repetições impediu a separação estatística dos tratamentos. A ausência de diferença significativa pode estar relacionada à falta de uniformidade inicial das mudas adquiridas em viveiro, uma vez que não foi possível obter plantas produzidas no mesmo período. Mesmo assim, o melhor desempenho numérico dos tratamentos com substrato reforça a importância do meio de cultivo na produção de mudas florestais. Nascimento (2022) destaca que substratos adequados favorecem melhores condições físicas e nutricionais para espécies florestais nativas, enquanto Sarzi (2006), em estudo específico com ipê-amarelo, observou que a composição do substrato interfere no desenvolvimento das mudas.

Para o diâmetro do caule, houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,003$). O T₁, composto apenas por substrato comercial, apresentou a maior média, com 3,13 mm, diferindo do T₄, que apresentou a menor média, com 1,92 mm (Tabela 2). Os tratamentos T₂, T₃ e T₅ apresentaram valores intermediários. O diâmetro do caule é uma variável importante na avaliação da qualidade de mudas florestais, pois está relacionado ao vigor, à resistência mecânica e à capacidade de sobrevivência após o transplante.

Tabela 2 - Médias finais das variáveis avaliadas em mudas de ipê-amarelo submetidas a diferentes substratos e condicionadores hídricos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: substrato comercial A; T2: substrato comercial A + solo; T3: solo + hidrogel comercial A; T4: solo + hidrogel comercial B; T5: solo.

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Folhas	Massa da raiz (g)
T1	12,54 a	3,13 a	8,80 a	13,40 a
T2	14,18 a	2,72 a	7,40 a	6,40 a
T3	11,10 a	2,46 ab	9,00 a	5,40 a
T4	8,50 a	1,92 b	6,60 a	7,20 a
T5	10,26 a	2,40 ab	8,20 a	5,40 a

Fonte: Silva et al., 2026.

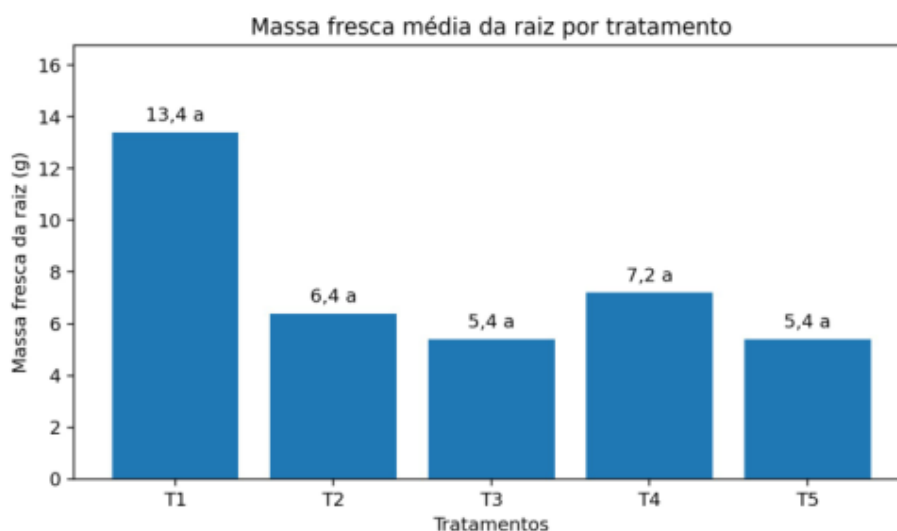
O maior diâmetro observado no T1 indica que o substrato comercial proporcionou melhores condições para o crescimento estrutural das mudas. Esse resultado está de acordo com Santos (2015), que destaca o diâmetro do coleto, a altura e o desenvolvimento radicular como parâmetros importantes para avaliar a qualidade de mudas florestais. Andrade et al. (2021), ao avaliarem mudas de ipê-branco, também ressaltam que fatores como substrato, fertilização, temperatura e luminosidade interferem diretamente no desenvolvimento inicial de espécies do gênero *Handroanthus*.

Em relação ao número de folhas, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,839$). No entanto, as maiores médias foram observadas em T3, com 9,0 folhas, e T1, com 8,8 folhas (Tabela 2). Esse resultado sugere que tanto o hidrogel comercial quanto o substrato comercial favoreceram a manutenção da parte aérea das mudas durante o período experimental. O número de folhas é uma variável relevante porque está associado à área fotossintética da planta e, conseqüentemente, à produção de fotoassimilados para o crescimento.

O desempenho do T3 pode estar relacionado à ação do hidrogel comercial na manutenção da umidade no solo. Hernandez (2025) afirma que os hidrogéis possuem estrutura tridimensional porosa capaz de absorver e armazenar água, funcionando como reservatórios temporários no substrato. Fernandes (2020) também destaca que hidrogéis bionanocompósitos apresentam potencial para aplicações agrícolas por sua capacidade de retenção e liberação gradual de água e compostos. Assim, mesmo que o T3 não tenha diferido estatisticamente dos demais tratamentos, sua maior média de folhas indica uma resposta positiva ao uso do hidrogel comercial em solo.

Quanto à massa fresca da raiz, a ANOVA indicou diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,039$), embora o teste de Tukey não tenha separado claramente as médias, atribuindo a mesma letra estatística aos tratamentos (Tabela 2). O T₁ apresentou a maior média de massa radicular, com 13,4 g, seguido pelo T₄, com 7,2 g, e pelo T₂, com 6,4 g. Os menores valores foram observados em T₃ e T₅, ambos com 5,4 g (Figura 3).

Figura 3 - Massa fresca média do sistema radicular de mudas de ipê-amarelo aos 44 dias após a implantação do experimento. Letras iguais indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Silva et al., 2026

O maior acúmulo de massa radicular no T₁ mostra que o substrato comercial favoreceu não apenas a parte aérea, mas também o desenvolvimento das raízes. Segundo Nascimento (2022), substratos adequados devem apresentar equilíbrio entre retenção de água e aeração, permitindo bom crescimento do sistema radicular. Dessa forma, o T₁ provavelmente proporcionou melhores condições físicas para a expansão das raízes, justificando sua maior média de massa fresca radicular.

O resultado do T₄ também merece destaque. Embora o tratamento com hidrogel comercial B tenha apresentado menor média de diâmetro, sua massa fresca de raiz foi superior ao controle T₅ e ao tratamento com hidrogel comercial T₃. Isso sugere que o hidrogel biodegradável pode ter favorecido o ambiente radicular, possivelmente por melhorar a retenção de água no solo. Azevêdo et al. (2018) destacam que o amido, composto por amilose e

amilopectina, apresenta potencial para formação de biopolímeros. Hernandez (2025) também ressalta que hidrogéis à base de amido e nanocelulose apresentam potencial agrícola devido à capacidade de intumescimento e absorção de água.

O controle T₅, composta apenas por solo, apresentou desempenho inferior ou intermediário na maioria das variáveis avaliadas. Esse comportamento evidencia que o uso isolado do solo pode não oferecer as melhores condições para o crescimento inicial do ipê amarelo, principalmente quando comparado ao substrato comercial. Klein e Klein (2015) destacam que a retenção de água no solo depende de fatores como textura, estrutura, matéria orgânica e infiltração, o que pode limitar a disponibilidade hídrica quando o material utilizado não apresenta boas características físicas.

De modo geral, os resultados indicam que o substrato comercial foi o tratamento mais eficiente para a produção inicial de mudas de ipê-amarelo, principalmente por proporcionar maior diâmetro do caule e maior massa fresca de raiz. O hidrogel comercial apresentou desempenho promissor no número de folhas, enquanto o hidrogel comercial B apresentou resposta interessante no desenvolvimento radicular. Assim, os dados demonstram que a qualidade do substrato exerce forte influência sobre o crescimento inicial das mudas, e que os hidrogéis podem apresentar potencial como condicionadores hídricos, especialmente quando associados a materiais com melhores características físicas e nutricionais.

CONCLUSÃO

Conclui-se que os diferentes tratamentos influenciaram o crescimento inicial das mudas de ipê-amarelo, principalmente em relação ao diâmetro do caule e à massa fresca da raiz. O tratamento com substrato comercial apresentou o melhor desempenho geral, destacando-se pelo maior diâmetro médio e maior desenvolvimento radicular.

O tratamento com substrato comercial + solo também apresentou bom crescimento em altura, enquanto os tratamentos com hidrogel comercial e hidrogel comercial B demonstraram potencial de uso como condicionadores hídricos, especialmente por apresentarem respostas positivas em algumas variáveis avaliadas.

O hidrogel comercial B mostrou-se uma alternativa promissora e sustentável, principalmente pelo desempenho observado na massa fresca da raiz. No entanto, sua eficiência

pode ser maior quando associado a substratos com melhores características físicas e nutricionais.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE RA, et al. Crescimento inicial de ipê branco (*Handroanthus roseoalbus* (Ridl.) Mattos) sob três intensidades luminosas. *Research, Society and Development*, 2021; 10(15): e160101522593.
2. ANGÉLICO TS, et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciência Florestal*, 2010; 20(2): 217-224.
3. AZEVÊDO LC, et al. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. *Cadernos de Prospecção*, 2018; 11(edição especial): 351-358.
4. BELLUCCO BB. Caracterização de polímeros hidrorretentores e aplicação ao substrato na produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.
5. BUENO MM, et al. Water requirement and growth indicators of forest tree species seedlings produced with automated irrigation management. *PLoS ONE*, 2020; 15: e0238677.
6. CORREIA TS, et al. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi density on growth and metabolism of *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O. Grose seedlings. *Physiologia Plantarum*, 2023; 175(6): e14067.
7. DA CRUZ SILVA PC, et al. Divergence among mother trees of *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. O. Grose regarding seed quality traits. *Revista Ciência Agronômica*, 2023; 54: e20230024.
8. FERNANDES RS. Desenvolvimento de hidrogéis bionanocompósitos ativos baseados em amido e alginato com potencial aplicação na agricultura e na biomedicina. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2020.
9. HERNANDEZ CC. Obtenção de hidrogéis à base de amido e nanocelulose para potencial aplicação na agricultura. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2025.
10. JEONG U, et al. Exploring the efficient irrigation period for *Larix kaempferi* seedlings in nursery pots in greenhouse conditions using optical measurements. *Forests*, 2024; 15(8): 1303.

11. JARDIM IN, ROSA D. Otimização do crescimento inicial de mudas de jatobá com uso associado de hidrogel e Osmocote. *Revista do Instituto Florestal*, 2026; 38: 1-16.
12. KLEIN C, KLEIN VA. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 2015; 19(1): 21-29.
13. LAMHAMEDI MS, et al. The production chain of tree seedlings, from seeds to sustainable plantations: an essential link for the success of reforestation and restoration programs in the context of climate change. *Forests*, 2023; 14(9): 1693.
14. LOPES JLW, et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciência Florestal*, 2010; 20(2): 217-224.
15. MARIOTTI B, et al. A global review on innovative, sustainable, and effective materials composing growing media for forest seedling production. *Current Forestry Reports*, 2023; 9: 413-428.
16. NASCIMENTO AVS. Substratos alternativos para produção de mudas de espécies florestais da família Anacardiaceae nativas da Caatinga. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.
17. NASCIMENTO MM, et al. Crescimento inicial de ipê branco (*Handroanthus roseoalbus* (Ridl.) Mattos) sob três intensidades luminosas. *Research, Society and Development*, 2021; 10(15): e160101522593.
18. SANTOS KG. Efeito da adubação foliar e condicionadores de solo no enraizamento, crescimento e rustificação de mudas clonais de *Pinus* sp. Dissertação (Mestrado em Ciências – Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
19. SARZI I. Produção de mudas de ipê amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Standl.) em função de substratos e de soluções de fertirrigação. Tese (Doutorado em Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.
20. SOUZA RS. Produção e crescimento inicial de espécies florestais nativas e crescimento inicial em sistemas agroflorestais no leste maranhense. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro de Ciências de Chapadinha, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2023.
21. VIEIRA CR, WEBER OLS. Avaliação de substratos na produção de mudas de jatobá. *Revista de Ciências Ambientais*, 2015; 9(2): 145-158.