

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA

HENRIQUE DELLALIBERA

EFICÁCIA DE PRODUTOS INDUTORES DE ENRAIZAMENTO NO
DESENVOLVIMENTO DE ESTACAS HERBÁCEAS DE LÚPULO

ERECHIM

2026

HENRIQUE DELLALIBERA

**EFICÁCIA DE PRODUTOS INDUTORES DE ENRAIZAMENTO NO
DESENVOLVIMENTO DE ESTACAS HERBÁCEAS DE LÚPULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Hugo von Linsingen Piazzetta

Coorientadora: Prof. Dra. Clarissa Dalla Rosa

ERECHIM

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Dellalibera, Henrique

EFICÁCIA DE PRODUTOS INDUTORES DE ENRAIZAMENTO NO
DESENVOLVIMENTO DE ESTACAS HERBÁCEAS DE LÚPULO /
Henrique Dellalibera. -- 2026.

40 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Von Linsingen Piazzetta

Co-orientadora: Prof. Dra. Clarissa Dalla Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2026.

1. Lúpulo. 2. Estacas herbáceas. 3. Enraizamento. I.
Piazzetta, Hugo Von Linsingen, orient. II. Rosa,
Clarissa Dalla, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

HENRIQUE DELLALIBERA

**EFICÁCIA DE PRODUTOS INDUTORES DE ENRAIZAMENTO NO
DESENVOLVIMENTO DE ESTACAS HERBÁCEAS DE LÚPULO**

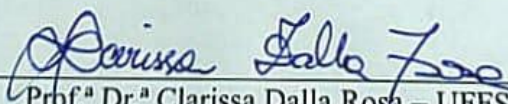
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Agrônomo.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 03/07/2026.

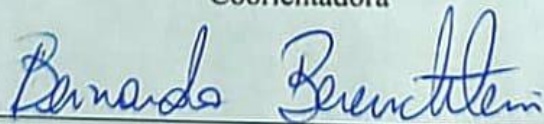
BANCA EXAMINADORA



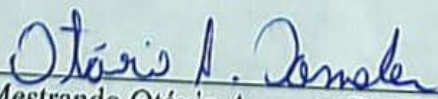
Prof. Dr. Hugo von Linsingen Piazzetta – UFFS
Orientador



Prof.ª Dr.ª Clarissa Dalla Rosa – UFFS
Coorientadora



Prof. Dr. Bernardo Berenchtein – UFFS
Avaliador



Mestrando Otávio Augusto Dassoler – UFFS
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por todo o zelo e dedicação que sempre despenderam comigo e também de não pouparem esforços para que pudesse concluir meus estudos.

A todos meus professores e amigos, que fizeram parte de minha trajetória acadêmica e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hugo von Linsingen Piazzetta e minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Clarissa Dalla Rosa, por toda orientação em minhas atividades e pesquisas.

A Deus, por todas as bênçãos e por fazer isso tudo possível.

"A inteligência e o conhecimento são ferramentas poderosas, mas desprovidas de direção moral elas se tornam cegas. O valor de um profissional e de sua pesquisa não reside apenas na precisão técnica de suas descobertas, mas na capacidade de orientar esse saber para o bem comum e a elevação moral da sociedade." — **Immanuel Kant**

RESUMO

A propagação vegetativa do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) via estaquia é a técnica predominante para a produção de mudas comerciais, garantindo a uniformidade genética necessária para a indústria cervejeira. No entanto, o sucesso do enraizamento é altamente dependente de fatores hormonais e ambientais, apresentando frequentemente taxas de sucesso variáveis entre cultivares. O presente trabalho avaliou a eficácia de indutores de enraizamento sintéticos, especificamente o Ácido Indolbutírico (AIB) e o Ácido Naftalenoacético (ANA), isolados ou em associação sinérgica com a bactéria promotora de crescimento vegetal *Azospirillum brasilense*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com estacas herbáceas da cultivar 'Comet'. A fundamentação teórica sustenta que as auxinas exógenas aceleram a diferenciação dos tecidos em primórdios radiculares, enquanto a inoculação bacteriana pode potencializar esse efeito por meio da síntese endógena de fitohormônios e melhoria da robustez fisiológica da muda. Foram mensurados parâmetros de sobrevivência, comprimento de raiz e parte aérea, número de brotações e massa seca da raiz e parte aérea. A análise realizada indica que o uso de AIB em concentrações adequadas associado ao *Azospirillum* representa uma opção promissora para a otimização de viveiros de lúpulo em regiões subtropicais, visando fortalecer a cadeia produtiva.

Palavras-chave: *Humulus lupulus*; rizogênese; auxinas; *Azospirillum brasilense*; propagação vegetativa.

ABSTRACT

Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus* L.) cuttings is the predominant technique for the production of commercial seedlings, ensuring the genetic uniformity necessary for the brewing industry. However, rooting success is highly dependent on hormonal and environmental factors, often showing variable success rates among cultivars. This study evaluates the efficacy of synthetic rooting inducers, specifically Indole butyric Acid (IBA) and Naphthaleneacetic Acid (NAA), alone or in synergistic association with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) with herbaceous cuttings of the 'Comet' cultivar. The theoretical basis supports the idea that exogenous auxins accelerate tissue differentiation into root primordia, while bacterial inoculation can potentiate this effect through the endogenous synthesis of phytohormones and improvement of the physiological robustness of the seedling. Survival parameters, root and shoot length, number of shoots, and root and shoot dry mass were measured. The analysis indicates that the use of IBA in appropriate concentrations associated with *Azospirillum* represents a promising frontier for optimizing hop nurseries in subtropical regions, aiming to strengthen the production chain.

Keywords: *Humulus lupulus*; rhizogenesis; auxins; *Azospirillum brasilense*; vegetative propagation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação do número de produtores, área cultivada, produtividade e produção total da cultura do lúpulo no Brasil em diferentes anos.....	19
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos experimentais, componentes utilizados, doses de aplicação e formas de aplicação nas estacas de lúpulo ‘Comet’	24
Tabela 3 - Sobrevivência, comprimento de raiz, comprimento da parte aérea e número de brotações laterais de estacas de lúpulo submetidas à aplicação de diferentes tratamentos enraizadores em Erechim-RS, 2026.	27
Tabela 4 - Massa verde e massa seca de raízes e da parte aérea de estacas de lúpulo submetidas à aplicação de diferentes tratamentos enraizadores em Erechim-RS, 2026.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de ANA + AZOS pós análise de 45 dias.....	31
Figura 2 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de ANA pós análise de 45 dias.....	31
Figura 3 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de AIB + AZOS pós a análise de 45 dias.....	32
Figura 4 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de AIB pós a análise de 45 dias.....	32
Figura 5 - Estacas de lúpulo 'Comet' não submetidas a nenhum tratamento (testemunha) pós a análise de 45 dias	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIB	Ácido indolbutírico
ANA	Ácido naftaleno acético
AZOS	<i>Azospirillum brasiliense</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA.....	14
1.2	PROBLEMA	14
1.3	HIPÓTESES	15
1.4	OBJETIVOS.....	15
1.4.1	Objetivo Geral	15
1.4.2	Objetivos Específicos.....	15
1.5	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	A CULTURA DO LÚPULO	17
2.1.1	Botânica e morfofisiologia	17
2.1.2	Histórico e importância econômica	18
2.1.3	O panorama da lupulicultura no Brasil	18
2.1.4	A cultivar 'Comet': Características e adaptação	19
2.2	PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E RIZOGÊNESE	20
2.2.1	Fisiologia da formação de raízes adventícias	20
2.2.2	Fatores que afetam o enraizamento.....	20
2.3	INDUTORES QUÍMICOS DE ENRAIZAMENTO	21
2.3.1	O papel das auxinas (AIB e ANA)	21
2.3.2	Mecanismos de ação e concentrações ótimas.....	22
2.4	BIOESTIMULANTES E MICRORGANISMOS.....	22
2.4.1	<i>Azospirillum brasilense</i> na promoção de crescimento	22
2.4.2	Sinergia entre tratamentos químicos e biológicos	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	LOCALIZAÇÃO E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	24
3.2	MATERIAL VEGETAL.....	24
3.3	DELINEAMENTO E TRATAMENTOS	24
3.4	PROCEDIMENTOS E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	25
3.5	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	25
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27

5	CONCLUSÕES	34
6	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) consolidou-se mundialmente como um insumo insubstituível para a indústria cervejeira, fornecendo as resinas amargas e os óleos essenciais que definem o perfil sensorial das bebidas (Araujo *et al.*, 2020). No contexto contemporâneo, a demanda global por lúpulo tem sido impulsionada não apenas pelo volume das grandes cervejarias, mas também pela explosão do mercado de cervejas artesanais, que exige variedades com perfis aromáticos complexos e alta qualidade fitoquímica (Araujo *et al.*, 2020). Para o Brasil, tradicionalmente dependente de importações oriundas de países de clima temperado como Alemanha e Estados Unidos, a produção nacional de lúpulo surgiu como uma fronteira agrícola estratégica, desafiando paradigmas climáticos e tecnológicos sobre a viabilidade de seu cultivo em regiões de baixas latitudes (Almeida e Conto, 2024; Brasil, 2022).

A expansão dessa cultura em território brasileiro, especialmente em latitudes subtropicais como as encontradas na região de Erechim, Rio Grande do Sul, exige o domínio de protocolos de propagação vegetal eficientes (SEAPDR, 2020). A multiplicação do lúpulo é realizada primariamente por via vegetativa, utilizando-se estacas ou rizomas, de modo a garantir a fidelidade genética das cultivares selecionadas e a uniformidade das plantas em campo (Durello, Silva e Bogusz, 2022).

A propagação por sementes é evitada em escala comercial devido à dioicidade da espécie e à alta heterozigose, que resultariam em descendentes desuniformes e na presença indesejada de plantas masculinas, as quais não produzem os cones de interesse comercial e prejudicam a qualidade das inflorescências femininas por meio da polinização indesejada (Spósito *et al.*, 2019).

Nesse cenário, a técnica de estaquia destaca-se pela viabilidade operacional e pelo potencial de produção em larga escala; contudo, o sucesso da estaquia depende da rizogênese adventícia, um processo fisiológico complexo que envolve a diferenciação de tecidos caulinares e a formação de novos meristemas radiculares (Hartmann *et al.*, 2011).

O enraizamento de estacas de lúpulo é frequentemente inconsistente, variando conforme a cultivar, o tipo de estaca (herbácea, semi-lenhosa ou lenhosa) e as condições microambientais, o que representa um elevado risco econômico para o viveirista (Lopes *et al.*, 2021). Para mitigar essas limitações, a aplicação de fitorreguladores sintéticos, principalmente as auxinas, tem sido uma prática padrão (Castro, 1979). O Ácido Indolbutírico (AIB) e o Ácido Naftalenoacético (ANA) são amplamente reconhecidos por sua capacidade de induzir a divisão celular e o alongamento radicular em estacas de espécies de difícil enraizamento (Brondani *et al.*, 2008).

Recentemente, a agronomia moderna tem buscado integrar esses tratamentos químicos a soluções biológicas, visando uma produção mais sustentável e resiliente. O uso de bioestimulantes e bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), como o *Azospirillum brasilense*, surge como uma alternativa de elevado interesse técnico e ecológico (Nozaki, Lorenzatto e Mancini, 2019). Essas bactérias atuam na síntese de fito-hormônios endógenos, na fixação biológica de nitrogênio e na melhoria geral da absorção de água e nutrientes, podendo agir de forma sinérgica com as auxinas exógenas aplicadas na base das estacas (Duarte *et al.*, 2020). A relevância deste estudo fundamenta-se na necessidade de gerar dados científicos que validem protocolos de enraizamento adaptados às condições edafoclimáticas locais do Sul do Brasil.

A cultivar 'Comet', objeto desta pesquisa, é reconhecida por sua rusticidade e perfil aromático cítrico, demonstrando excelente adaptação ao clima nacional quando manejada corretamente (Fink *et al.*, 2022). Compreender como diferentes doses de indutores químicos e sua associação com agentes biológicos influenciam o desenvolvimento radicular é crucial para garantir a produção de mudas com alto vigor fisiológico, fator essencial para o estabelecimento e a longevidade do lúpulo no campo. A análise aprofundada da interação entre indutores químicos e biológicos não apenas visa otimizar a produtividade dos viveiros, mas também contribui para o fortalecimento da cadeia produtiva do lúpulo no Brasil.

1.1 TEMA

Avaliação da eficácia de diferentes produtos enraizadores sintéticos associados ou não a *Azospirillum brasilense* na propagação vegetativa do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivar 'Comet' por estaquia.

1.2 PROBLEMA

O enraizamento inconsistente de estacas de lúpulo representa um gargalo crítico na produção de mudas de alta qualidade no Brasil. A variabilidade nas taxas de sobrevivência e na arquitetura do sistema radicular compromete a eficiência dos viveiros e o desempenho das plantas no campo. Diante da diversidade de produtos disponíveis no mercado, desde auxinas sintéticas até bioestimulantes bacterianos, surge a necessidade de investigar: qual é a eficácia comparativa de diferentes produtos enraizadores e se existe um efeito sinérgico na combinação de tratamentos químicos e biológicos para a cultivar 'Comet' sob condições subtropicais?

1.3 HIPÓTESES

- A aplicação de fitorreguladores sintéticos, como o Ácido Indolbutírico (AIB) e o Ácido Naftalenoacético (ANA), aumentará significativamente a taxa de enraizamento, o comprimento radicular e a massa seca das estacas em relação a testemunha.
- A associação de indutores químicos com o inoculante biológico *Azospirillum brasilense* apresentará um efeito sinérgico, resultando em taxas de enraizamento e qualidade de mudas (biomassa e vigor) superiores aos tratamentos aplicados isoladamente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da aplicação de diferentes tipos de produtos enraizadores, isolados ou em associação, na otimização da propagação vegetativa de lúpulo por estaquia da cultivar 'Comet'.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar a porcentagem de sobrevivência e de enraizamento das estacas sob diferentes tratamentos.
- Mensurar o comprimento da raiz, comprimento da parte aérea e o número de brotações laterais geradas.
- Quantificar a massa seca da raiz e da parte aérea como indicadores de vigor e acúmulo de reservas.
- Avaliar a hipótese de sinergia entre o tratamento químico (auxinas sintéticas) e o biológico (*Azospirillum brasilense*).
- Identificar o tratamento mais eficaz para a produção de mudas de lúpulo em ambiente protegido.

1.5 JUSTIFICATIVA

O fortalecimento da cadeia produtiva do lúpulo no Brasil é um passo decisivo para a consolidação e a redução de custos da indústria cervejeira nacional, que atualmente demanda grandes volumes de importação de matéria-prima (Brasil, 2022). A otimização da propagação vegetativa constitui o ponto de partida indispensável para qualquer empreendimento agrícola de sucesso, sendo a qualidade fisiológica da muda o fator determinante para a longevidade, sanidade e produtividade do lúpulo no campo.

Atualmente, a escassez de protocolos técnicos padronizados para cultivares específicas em solo brasileiro gera insegurança técnica e elevados riscos financeiros para os produtores (Lopes *et al.*, 2021). Este estudo justifica-se pela necessidade de gerar dados científicos que validem o uso de biotecnologias, como as bactérias promotoras de crescimento vegetal, em conjunto com fitorreguladores tradicionais (Nozaki, Lorenzatto e Mancini, 2019). A utilização do *Azospirillum brasilense* alinha-se diretamente às diretrizes do Plano Nacional de Bioinsumos, buscando reduzir o impacto ambiental e os custos de produção através do aproveitamento de processos biológicos e metabólicos benéficos (Duarte *et al.*, 2020). Além disso, a região Sul do Brasil possui características climáticas propícias para o cultivo do lúpulo, mas que exigem estratégias de manejo precisas durante o inverno e a primavera, períodos de maior atividade de produção de mudas (SEAPDR, 2020).

Os resultados desta pesquisa fornecerão recomendações técnicas claras, permitindo que viveiristas aumentem sua produtividade e que novos agricultores entrem no mercado com menor risco de perda de material propagativo. Em última análise, este trabalho contribui para o desenvolvimento regional, promovendo inovação tecnológica no campo e agregação de valor à agricultura local.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO LÚPULO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma espécie vegetal de extrema relevância industrial e farmacológica e econômica (Araujo *et al.*, 2020). Classificado dentro da ordem Rosales e da família Cannabaceae, o gênero *Humulus* é composto por três espécies principais: *H. lupulus*, *H. japonicus* (conhecido como lúpulo japonês) e *H. yunnanensis* (Araujo *et al.*, 2020). Enquanto as outras espécies possuem uso ornamental ou medicinal limitado, o *Humulus lupulus* é o único lúpulo utilizado na indústria de bebidas, sendo a espécie cultivada comercialmente para a fabricação de cerveja devido à sua composição de resinas e óleos voláteis (Araujo *et al.*, 2020).

A estrutura química do lúpulo é notavelmente complexa e de alto valor tecnológico. As glândulas de lupulina, localizadas nas inflorescências femininas (cones), contêm alfa-ácidos (como a humulona) e beta-ácidos (lupulona), que são os principais agentes de amargor e estabilidade microbiológica. Além dos ácidos, os óleos essenciais (como mirceno, humuleno e cariofileno) conferem os aromas florais, cítricos e resinosos que caracterizam os estilos modernos de cervejas artesanais (Araujo *et al.*, 2020).

2.1.1 Botânica e morfofisiologia

Botanicamente, o lúpulo é uma planta herbácea, perene e trepadeira, de hábito dextrogiro enrolando-se em suportes verticais no sentido horário durante o seu crescimento (Spósito *et al.*, 2019). Em seu habitat natural ou sob condução comercial em sistemas de sustentação (espaldeiras), os ramos vegetativos podem atingir alturas superiores a 6 metros em um único ciclo vegetativo (Spósito *et al.*, 2019). A planta possui um sistema radicular duplo e altamente especializado: raízes fibrosas superficiais para absorção de água e nutrientes, e raízes de armazenamento profundas, associadas a uma coroa de rizomas subterrâneos que permitem à planta sobreviver à dormência hibernar (Fink *et al.*, 2022). As folhas são opostas, cordiformes e geralmente possuem de três a cinco lobos, com bordas serrilhadas e uma superfície áspera devido à presença de tricomas silicosos (Spósito *et al.*, 2019). A dioicidade é uma característica morfológica fundamental: as plantas masculinas devem ser suprimidas dos plantios comerciais cervejeiros, pois a polinização leva à formação de sementes ricas em lipídios insaturados, os quais depreciam a estabilidade da espuma e provocam rancidez oxidativa nos produtos (Araujo *et al.*, 2020).

2.1.2 Histórico e importância econômica

Historicamente, o lúpulo tem sido utilizado pela humanidade por milênios, com antigos registros romanos que o descreviam como *lupus salictarius* (lobo dos salgueiros) devido ao seu hábito de crescer enrolado e sufocar pequenas árvores em matas ciliares (Durello, Silva e Bogusz, 2022). O seu uso sistemático e obrigatório na produção cervejeira consolidou-se na Europa medieval, por volta do século IX, substituindo antigas misturas de ervas aromáticas (*gruit*) não apenas pelo sabor e amargor conferidos, mas principalmente por suas potentes propriedades conservantes e antimicrobianas que permitiam o transporte seguro da bebida por longas distâncias (Durello, Silva e Bogusz, 2022).

Economicamente, o lúpulo é uma cultura de alto valor agregado e de grande relevância no mercado global. Tradicionalmente, a produção mundial de lúpulo concentra-se em regiões de clima temperado, situadas em latitudes entre 35° e 55° em ambos os hemisférios, onde o longo fotoperíodo (superior a 15 horas de luz diária) estimula a floração e a maturação dos cones (Spósito *et al.*, 2019). No entanto, o avanço do melhoramento genético, o desenvolvimento de novas tecnologias agronômicas e a adaptação de cultivares têm viabilizado a expansão do cultivo para regiões de baixa latitude, incluindo países de clima tropical e subtropical (Almeida e Conto, 2024).

2.1.3 O panorama da lupicultura no Brasil

No Brasil, a produção de lúpulo está um momento de ascensão técnica e de expansão de área cultivada (Almeida e Conto, 2024). Até o início do século XXI, a literatura técnica e acadêmica assumia que a espécie não se adaptaria comercialmente ao clima nacional devido à ausência de baixas temperaturas invernais necessárias para a quebra de dormência e ao fotoperíodo curto de verão (Spósito *et al.*, 2019). Porém, produtores na região da Serra da Mantiqueira e na região Sul do país demonstraram a viabilidade técnica e comercial da cultura através da suplementação de luz artificial em campo para estender o fotoperíodo e da seleção de cultivares mais rústicas (Almeida e Conto, 2024). O avanço da cultura no país é demonstrado pelos dados do censo da Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo, evidenciando um crescimento contínuo de produtividade, conforme apresentado na Tabela 1 (Aprolúpulo, 2026).

Tabela 1 - Variação do número de produtores, área cultivada, produtividade e produção total da cultura do lúpulo no Brasil em diferentes anos.

Ano	Nº de Produtores	Área Cultivada (ha)	Produtividade (kg/ha)	Produção Total (t)
2021	60	40,0	450,0	18,0
2022	81	48,5	597,0	29,0
2023	114	111,8	787,1	88,0
2024	109	95,4	852,3	81,3

Fonte: Adaptado de mapa do lúpulo Brasileiro, APROLÚPULO (2024, p. 8-11).

Embora a área cultivada tenha sofrido um pequeno recuo em 2024 devido à consolidação de produtores profissionais e saída de entusiastas isolados, a produtividade média nacional atingiu o recorde de 852,3 kg/ha. Esse aumento de eficiência reflete o domínio de técnicas agronômicas, incluindo a nutrição de precisão e a propagação de mudas de alta qualidade.

2.1.4 A cultivar ‘Comet’: Características e adaptação

A cultivar 'Comet' foi originalmente lançada nos Estados Unidos na década de 1970 como uma variedade de alto amargor, mas ganhou destaque no mercado de cervejas artesanais por seu perfil aromático único, frequentemente descrito como "Zesty" (cítrico/casca de toranja) e herbáceo.

No Brasil, a cultivar 'Comet' destaca-se como uma das variedades mais promissoras e de melhor adaptação fitotécnica em território nacional. Em estudos experimentais e plantios comerciais conduzidos nos estados de São Paulo e na região Sul, a cultivar demonstrou excelente vigor vegetativo e grande estabilidade na síntese de metabólitos secundários sob variações climáticas interanuais (Fink *et al.*, 2022). Com suplementação luminosa, a 'Comet' pode atingir teores de alfa-ácidos entre 9% e 12%, valores comparáveis aos obtidos em regiões tradicionais de cultivo no hemisfério norte (Fink *et al.*, 2022). A sua expressiva robustez vegetativa e a emissão abundante de ramos laterais facilitam a coleta contínua de estacas de

excelente qualidade, tornando-a ideal para estudos focados na otimização de protocolos de propagação assexuada (Lopes *et al.*, 2021).

2.2 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E RIZOGÊNESE

A propagação vegetativa baseia-se no princípio biológico da totipotência celular, que consiste na capacidade de uma célula somática já diferenciada retornar ao estado meristemático ativo e dar origem a um novo indivíduo completo, morfologicamente idêntico à planta-mãe (Hartmann *et al.*, 2011). No cultivo do lúpulo, os métodos principais de propagação assexuada envolvem a divisão de rizomas durante o período de repouso invernal e a estaquia caulinar ou foliar realizada no período de crescimento ativo (Durello, Silva e Bogusz, 2022). A estaquia caulinar é o método mais eficiente para multiplicação rápida, permitindo produzir milhares de mudas a partir de poucas plantas-matrizes qualificadas em uma única safra (Rossini *et al.*, 2023).

2.2.1 Fisiologia da formação de raízes adventícias

O processo de rizogênese adventícia é dividido em três fases fisiológicas distintas: indução, iniciação e expressão (Hartmann *et al.*, 2011). Durante a fase de indução, ocorrem intensas alterações bioquímicas e moleculares nos tecidos internos, sem que se observe qualquer mudança morfológica macroscópica visível; trata-se do período no qual o balanço hormonal endógeno se desloca favoravelmente em direção ao acúmulo de auxinas na base da estaca (Hartmann *et al.*, 2011). Na fase subsequente de iniciação, as células próximas aos feixes vasculares (câmbio e floema) iniciam divisões organizadas para formar os primórdios radiculares (Hartmann *et al.*, 2011). Finalmente, na fase de expressão, as novas raízes crescem através do córtex e emergem da epiderme do caule da estaca (Hartmann *et al.*, 2011).

2.2.2 Fatores que afetam o enraizamento

O sucesso do enraizamento adventício é regulado por uma complexa e fina rede de interações entre fatores internos da planta e condições ambientais externas (Lopes *et al.*, 2021).

- **Fatores Endógenos:** Compreendem a concentração de fito-hormônios naturais (especificamente a relação auxina/citocinina), a presença de cofatores fenólicos de

enraizamento que protegem as auxinas da degradação enzimática, o estado nutricional da planta-matriz (com ênfase nas reservas de amido e açúcares solúveis) e a idade ontogenética do tecido vegetal colhido, sendo os tecidos juvenis significativamente mais responsivos à rizogênese do que tecidos senescentes ou lenhosos (Lopes *et al.*, 2021).

- **Fatores Exógenos:** Exercem papel decisivo no controle da sobrevivência celular antes da emissão das raízes (Rossini *et al.*, 2023). A manutenção de uma elevada umidade relativa do ar através de sistemas de nebulização intermitente é vital para evitar o estresse hídrico e manter a turgidez das folhas, mantendo a atividade fotossintética mínima (Rossini *et al.*, 2023). Além disso, a temperatura do substrato de enraizamento (cuja faixa ideal é entre 20°C e 25°C) e a porosidade de aeração do meio são fundamentais para garantir o suprimento de oxigênio necessário à respiração celular e prevenir o ataque de patógenos fúngicos oportunistas (Hartmann *et al.*, 2011).

2.3 INDUTORES QUÍMICOS DE ENRAIZAMENTO

Os fitorreguladores são substâncias sintéticas que mimetizam a ação dos hormônios vegetais. As auxinas sintéticas constituem o grupo de substâncias mais utilizado mundialmente para estimular a formação de raízes adventícias em estacas, atuando como sinalizadores químicos que reprogramam as células do caule para formar novos meristemas radiculares (Castro, 1979).

2.3.1 O papel das auxinas (AIB e ANA)

- **Ácido Indolbutírico (AIB):** É a auxina mais utilizada mundialmente por ser quimicamente estável e menos sensível à degradação pela enzima AIA-oxidase (Brondani *et al.*, 2008). O AIB promove uma liberação lenta e constante de estímulo hormonal, favorecendo um enraizamento uniforme e de alta qualidade (Brondani *et al.*, 2008).
- **Ácido Naftalenoacético (ANA):** É uma alternativa potente, sendo frequentemente utilizado de forma isolada ou em formulações comerciais associado ao AIB para induzir o enraizamento em espécies consideradas de difícil propagação (Brondani *et al.*, 2008). No entanto, o ANA apresenta uma janela de dosagem segura extremamente estreita e uma elevada persistência celular, o que pode induzir efeitos fitotóxicos severos e inibir o desenvolvimento subsequente das gemas vegetativas e das brotações da parte aérea se

aplicado em concentrações excessivas (Brondani *et al.*, 2008).

2.3.2 Mecanismos de ação e concentrações ótimas

A aplicação de auxinas exógenas altera o transporte polar de auxina na estaca, acumulando o hormônio na base por gravidade e transporte ativo (Castro, 1979). Esse acúmulo atua na regulação de genes específicos que controlam o ciclo celular e a plasticidade da parede celular, desencadeando mitoses sucessivas nas células próximas aos feixes condutores (Castro, 1979).

Para o lúpulo, estudos indicam que doses entre 1000 e 3000 ppm são geralmente eficazes, com concentrações de máxima eficiência próximas a 2500 ppm para a cultivar 'Cascade' e 'Comet' (Souza *et al.*, 2018).

2.4 BIOESTIMULANTES E MICRORGANISMOS

A biotecnologia agrícola trouxe novas ferramentas biológicas para otimizar os sistemas de produção vegetal. Os bioestimulantes, que são substâncias como extratos de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*), ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos e microrganismos benéficos, atuam com o propósito de otimizar a eficiência metabólica e a resistência fisiológica das plantas sem atuar diretamente como fertilizantes minerais (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2019).

2.4.1 *Azospirillum brasilense* na promoção de crescimento

O *Azospirillum brasilense* é uma bactéria diazotrófica amplamente conhecida por sua capacidade de colonizar a rizosfera, a superfície radicular e o interior dos tecidos vegetais (Nozaki, Lorenzatto e Mancini, 2019). Além da fixação biológica de nitrogênio, seu principal benefício na propagação é a produção de fito-hormônios, como o ácido indolacético (AIA), giberelinas e citocininas em concentrações fisiologicamente ativas (Nozaki, Lorenzatto e Mancini, 2019). Essa estimulação hormonal biológica promove um aumento na área superficial das raízes e induz a formação de pelos radiculares, potencializando a absorção de água, nutrientes e minerais logo após o estaqueamento das mudas (Nozaki, Lorenzatto e Mancini, 2019).

2.4.2 Sinergia entre tratamentos químicos e biológicos

A hipótese de sinergia metabólica propõe que a combinação de indutores químicos e biológicos age de forma complementar e integrada ao longo do tempo (Duarte *et al.*, 2020). Enquanto a aplicação basal da auxina sintética (AIB ou ANA) fornece o estímulo inicial para a diferenciação dos tecidos e a formação rápida dos primórdios radiculares, a colonização posterior por *Azospirillum brasilense* estabelece uma associação biológica que sustenta e acelera o crescimento radicular posterior (Duarte *et al.*, 2020). A bactéria atua reduzindo o estresse oxidativo devido o corte do ramo vegetal e fornece um fluxo balanceado de hormônios endógenos e compostos protetivos que estimulam as defesas naturais da muda contra fitopatógenos de solo (Silva *et al.*, 2021). Estudos de co-inoculação realizados em outras espécies lenhosas e ornamentais revelam que essa abordagem combinada resulta em mudas com maior biomassa de raízes e com maior taxa de sobrevivência durante o período crítico de aclimatização (Silva *et al.*, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento foi conduzido nas instalações da estufa experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim, Rio Grande do Sul (Latitude 27°21'S, Longitude 52°18'W). A estufa permite que a temperatura interna permaneça em uma faixa ideal, entre 20°C e 30°C durante o dia.

3.2 MATERIAL VEGETAL

Foi utilizado estacas herbáceas da cultivar de lúpulo 'Comet'. O material vegetal foi coletado de plantas-matrizes saudáveis. As estacas foram preparadas com comprimento de 5 a 10 cm, contendo dois nós e duas gemas axilares ativas. Para reduzir a transpiração, as folhas do nó basal foram removidas, enquanto as folhas do nó apical tiveram sua área foliar reduzida em 50%.

3.3 DELINEAMENTO E TRATAMENTOS

O experimento seguiu um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), composto por 5 tratamentos com 9 repetições cada, onde cada repetição consiste em uma estaca individual (N total = 45).

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos experimentais, componentes utilizados, doses de aplicação e formas de aplicação nas estacas de lúpulo 'Comet'.

Tratamento	Componentes	Dose/Forma	Aplicação
Testemunha	Água destilada	Imersão	Imersão em água
T1	AIB	Pó comercial	Imersão da base (pó)
T2	ANA	1500 ppm	Imersão rápida (líquido)

T3	AIB + <i>Azospirillum</i>	Pó + Líquido inoculante	Imersão no líquido + pó
T4	ANA + <i>Azospirillum</i>	1500 ppm + Inoculante	Imersão ANA + Aspersão no substrato

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A escolha da dose de 1500 ppm para o ANA baseia-se em estudos prévios que indicam ser esta a faixa para evitar a fitotoxicidade em estacas herbáceas de espécies trepadeiras. O inoculante de *Azospirillum brasilense* foi aplicado conforme recomendação do fabricante para bioestimulação de mudas.

3.4 PROCEDIMENTOS E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As estacas foram plantadas em vasos individuais com capacidade de 750 ml, preenchidos com uma mistura homogênea de substrato comercial (base de turfa e vermiculita) e areia grossa na proporção de 50/50 (v/v). O substrato foi previamente umedecido até a capacidade de campo.

O sistema de irrigação foi composto por microaspersão intermitente controlada por timer, tendo 4 irrigações por dia com a duração de 6 minutos cada, mantendo o substrato na capacidade de recipiente. Não foi realizada adubação mineral durante o período de enraizamento para evitar o excesso de sais que poderia inibir a rizogênese.

3.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

As avaliações foram realizadas aos 45 dias após a instalação do experimento.

1. **Sobrevivência e Enraizamento:** Contagem de estacas vivas (daquelas que apresentam raízes visíveis).
2. **Morfologia Radicular:** Mensuração do comprimento da raiz (cm).
3. **Desenvolvimento da Parte Aérea:** Comprimento da parte aérea (cm) e número de gemas laterais (unidade).
4. **Massa Seca:** As amostras de raiz e parte aérea foram separadas, lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas para determinação da massa seca em balança analítica.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias pelo teste de Brown-Forsythe. Quando atendidos os pressupostos da análise de variância, os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as variáveis que não atenderam aos pressupostos da ANOVA (indicado por $P < 0,050$ no teste de normalidade de Shapiro-Wilk), utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Os dados de sobrevivência (%) foram transformados em arco seno da raiz quadrada de $x/100$ para a realização da análise estatística. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software SigmaPlot versão 14.5.

4 RESULTADOS E DICUSSÃO

Os tratamentos aplicados às estacas de lúpulo cultivar 'Comet' apresentaram variações significativas sobre o estabelecimento e o desenvolvimento morfofisiológico das mudas. Os dados médios obtidos após as avaliações de sobrevivência, comprimento de raiz, comprimento de parte aérea e emissão de brotações laterais encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Sobrevivência, comprimento de raiz, comprimento da parte aérea e número de brotações laterais de estacas de lúpulo submetidas à aplicação de diferentes tratamentos enraizadores em Erechim-RS, 2026.

Tratamentos	Sobrevivência (%)	Comprimento de Raiz (cm)	Comprimento de Parte Aérea (cm)	Brotações Laterais (und)
TESTEMUNHA	66,0 b	1,06 b	2,94 b	0,33 ns
AIB	89,0 ab	3,94 a	6,00 a	1,11
AIB + AZOS	100,0 a	3,67 a	5,44 ab	1,33
ANA	0,0 c	0,00**	0,00**	0,00
ANA + AZOS	0,0 c	0,00**	0,00**	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

- Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
- ns: não houve diferença significativa entre tratamentos.
- (*) Dados transformados em arco seno da raiz quadrada de x/100 para análise estatística.
- () Dados retirados da análise estatística morfométrica devido à mortalidade total (100%) das estacas.

Houve efeito altamente significativo dos tratamentos sobre a sobrevivência das estacas de lúpulo ($H = 44,00$; $P < 0,001$).

O tratamento associando AIB + *Azospirillum brasilense* (T3) apresentou o maior valor absoluto de sobrevivência (100%), diferindo estatisticamente da testemunha e dos tratamentos contendo o fitorregulador ANA.

A aplicação isolada de AIB (T1) proporcionou sobrevivência intermediária (89%), não diferindo significativamente de AIB + *Azospirillum brasilense*.

O resultado mais marcante refere-se aos tratamentos contendo Ácido Naftalenoacético (ANA e ANA + *Azospirillum*), nos quais ocorreu mortalidade total (100%) das estacas. Esse comportamento revela um severo efeito de fitotoxicidade do ANA na concentração de 1500 ppm para estacas herbáceas de lúpulo cultivar 'Comet'. Fisiologicamente, as auxinas atuam sob uma estreita janela de dosagem benéfica. Concentrações exógenas excessivas ou o uso de moléculas altamente persistentes nos tecidos (como o ANA) ativam a síntese acelerada de etileno através da estimulação da enzima ACC-sintase, provocando amarelecimento das folhas, queda foliar, necrose na base do caule e, em casos extremos, a morte completa do propágulo (Castro, 1979). Comportamento semelhante de alta toxicidade induzida por ANA foi documentado no enraizamento de estacas de *Melaleuca alternifolia* e *Cordia trichotoma*, corroborando a resistência de determinados materiais vegetais à indução exógena por essa classe sintética (Brondani *et al.*, 2008). Em contrapartida, as altas taxas de sobrevivência observadas com AIB consolidam esta auxina como a mais segura e eficaz para a propagação vegetativa do lúpulo.

A associação com a bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense* mitigou o estresse pós coleta e manteve as estacas turgidas e responsivas ao enraizamento, proporcionando 100% de mudas viáveis. A colonização da rizosfera pelas bactérias induz a produção de fitohormônios endógenos (como AIA, citocininas e giberelinas) e ativa defesas sistêmicas que protegem as bases foliares e caulinares contra patógenos oportunistas no leito de enraizamento. Em relação ao comprimento radicular, registrou-se efeito estatístico significativo dos tratamentos ($H = 9,641$; $P = 0,009$).

Os tratamentos constituídos por AIB (3,94 cm) e AIB + *Azospirillum brasilense* (3,67 cm) induziram maior alongamento das raízes adventícias quando comparados ao controle testemunha (1,06 cm), sem apresentar diferença estatística entre si.

A indução exercida pelo AIB deve-se à sua capacidade de translocação polar estável na base caulinar, favorecendo divisões celulares organizadas nas células próximas ao câmbio e ao floema, acelerando a emergência dos primórdios radiculares. O enraizamento inicial vigoroso é um fator-chave para que as mudas consigam absorver água e nutrientes de forma autônoma após o período de multiplicação em viveiro.

Para o comprimento da parte aérea, observou-se efeito significativo pelo teste F ($F = 4,017$; $P = 0,031$). O tratamento composto apenas por AIB proporcionou maior crescimento longitudinal da haste aérea (6,00 cm) em relação à testemunha (2,94 cm). O tratamento

contendo AIB + *Azospirillum* apresentou crescimento intermediário (5,44 cm), não diferindo estatisticamente de ambos. O maior desenvolvimento aéreo está diretamente associado ao estabelecimento de raízes funcionais promovido pelo AIB, que restabelece o fluxo hídrico e nutricional em direção ao ápice vegetativo, estimulando a síntese de clorofila e a fotossíntese ativa.

O número de brotações laterais não foi estatisticamente influenciado pelos tratamentos ($H = 5,216$; $P = 0,074$). Apesar disso, verificou-se uma tendência numérica de maior emissão nos tratamentos que receberam AIB isolado (1,11) e AIB + *Azospirillum* (1,33) em relação às estacas da testemunha (0,33). Essa tendência reflete o vigor adquirido pelas plantas tratadas com indutores hormonais, onde a inoculação com a bactéria promotora de crescimento atua no estímulo metabólico inicial das gemas axilares por meio da liberação de giberelinas.

A Tabela 4 apresenta as massas frescas e secas acumuladas para as raízes e parte aérea ao final dos 45 dias de condução do experimento.

Tabela 4 - Massa verde e massa seca de raízes e da parte aérea de estacas de lúpulo submetidas à aplicação de diferentes tratamentos enraizadores em Erechim-RS, 2026.

Tratamentos	Massa Verde Raízes (g)	Massa Seca Raízes (g)	Massa Verde Parte Aérea (g)	Massa Seca Parte Aérea (g)
TESTEMUNHA	0,012 ns	0,004 ns	0,040 ns	0,020 ns
AIB	0,049	0,014	0,090	0,031
AIB + AZOS	0,023	0,007	0,087	0,026
ANA	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
ANA + AZOS	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

- Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
- ns: não significativo pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.
- (0,00) Dados retirados da análise estatística devido à mortalidade total (100%) das estacas.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos viáveis para massa verde de raízes ($H = 4,322$; $P = 0,115$), massa seca de raízes ($H = 3,939$; $P = 0,140$), massa verde de parte aérea ($H = 3,638$; $P = 0,162$) e massa seca de aérea ($H = 1,340$; $P = 0,512$).

No entanto, é nítida a superioridade numérica dos valores de biomassa das plantas tratadas com AIB e AIB + *Azospirillum brasilense* quando comparadas à testemunha. Por exemplo, o tratamento com AIB acumulou, em média, mais do que o triplo de massa seca radicular (0,014g) e cerca de quatro vezes mais massa verde radicular (0,049g) do que o controle (0,004g e 0,012g, respectivamente).

Para a parte aérea, a massa seca média aumentou de 0,020g na testemunha para 0,031g no AIB e 0,026g no AIB + *Azospirillum*.

A ausência de significância estatística para variáveis de peso de massa seca em ensaios iniciais de estadia de lúpulo é um fenômeno recorrente na literatura científica. Durante as primeiras semanas do enraizamento (até os 45 dias), as estacas vegetativas ainda dependem majoritariamente do aporte de carboidratos e compostos de reserva originalmente estocados no fragmento caulinar de origem. O processo fisiológico prioritário nesta etapa reside na formação estrutural primária das raízes (rizogênese adventícia) e na emissão dos novos eixos foliares, de modo que o ganho expressivo de massa seca acumulada (decorrente da fotossíntese líquida ativa) manifesta-se em períodos cronológicos posteriores.

Essa dinâmica fisiológica inicial explica por que variações estatisticamente significativas na biomassa seca costumam ser detectadas apenas em avaliações conduzidas em períodos mais longos, como aos 60 ou 90 dias após o estaqueamento (DAE). Estudos que avaliaram a cinética de crescimento e o acúmulo de fitomassa em estacas ao longo do tempo indicam que a diferenciação estatística entre os tratamentos com fitorreguladores e o controle exige um sistema radicular completamente funcional, ramificado e estabelecido (HARTMANN et al., 2011). É após esse intervalo inicial (geralmente entre 60 e 90 dias) que a transição plena para o metabolismo autotrófico e o aumento da área foliar fotossinteticamente ativa convertem a superioridade estrutural das raízes em um incremento expressivo e estatisticamente detectável de matéria seca (TAIZ et al., 2017).

Os resultados do presente ensaio indicam, contudo, que as estacas tratadas com AIB e AIB + *Azospirillum* iniciaram a fase autotrófica com uma arquitetura morfométrica consideravelmente superior à testemunha, criando uma base estrutural favorável para o posterior acúmulo de biomassa.

Para meio de conclusão dos resultados acima, pode ser visualizado o efeito de cada tratamento realizado no trabalho pós os 45 dias na Figura 1 (ANA + AZOS), Figura 2 (ANA), Figura 3 (AIB + AZOS), Figura 4 (AIB) e na Figura 5 (Testemunha).

Figura 1 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de ANA + AZOS pós análise de 45 dias.



Fonte: O autor (2026).

Figura 2 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de ANA pós análise de 45 dias.



Fonte: O autor (2026).

Figura 3 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de AIB + AZOS pós a análise de 45 dias.



Fonte: O autor (2026).

Figura 4 - Estacas de lúpulo 'Comet' submetidas ao tratamento de AIB pós a análise de 45 dias.



Fonte: O autor (2026).

Figura 5 - Estacas de lúpulo 'Comet' não submetidas a nenhum tratamento (testemunha) pós a análise de 45 dias.



Fonte: O autor (2026).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que a otimização da propagação vegetativa por estaquia do lúpulo cultivar 'Comet' é alcançada com elevada eficácia fito técnica por meio da aplicação exógena do fitorregulador sintético Ácido Indolbutírico (AIB). O AIB atua de forma isolada promovendo aumentos significativos no comprimento radicular e de parte aérea, porém, sua eficiência é maximizada quando associado ao inoculante biológico *Azospirillum brasilense*, demonstrando uma interação sinérgica e protetiva que assegura a sobrevivência máxima (100%) das estacas sob ambiente protegido. Entretanto, a utilização do Ácido Naftalenoacético (ANA) na concentração de 1500 ppm, de forma isolada ou combinada, mostrou-se completamente inviável e contraindicada para estacas herbáceas da cultivar 'Comet' por induzir fitotoxicidade severa e resultar em mortalidade total (100%) dos propágulos. Por fim, a ausência de diferença estatística nas massas frescas e secas aos 45 dias indica que, nesta fase inicial, as estacas focam na formação estrutural de raízes e brotos em vez do ganho de peso. Desse modo, a utilização do AIB associado ao *Azospirillum brasilense* é a recomendação técnica ideal para viveiristas da região Sul do Brasil que buscam otimizar o rendimento e a qualidade de suas mudas.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- LOPES, L. et al. Propagação vegetativa de lúpulo por estaquia. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 12, e1999108398, 2021.
- SOUZA, J. R. et al. Doses de ácido indolbutírico na produção de mudas de lúpulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 3, p. 112-120, 2018.
- APROLÚPULO. *Mapa do lúpulo brasileiro 2024*. Chapecó: Aprolúpulo; Casulo/UFRJ, 2026.
- ROSSINI, F. et al. Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus*): effect of biostimulants, size and position of cuttings. *Agropecuária Catarinense*, v. 36, n. 2, p. 45-53, 2023.
- ALMEIDA, A. da R.; CONTO, L. C. de. Lúpulo no Brasil: Uma cultura promissora em ascensão. *Food Science Today*, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2024.
- ARAÚJO, L. et al. Importância econômica e medicinal de *Humulus lupulus*: uma revisão. *Higia*, v. 5, n. 1, p. 444-455, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. *Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades*. Brasília, DF: MAPA, 2022.
- DURELLO, G.; SILVA, R.; BOGUSZ, S. Propagação assexuada de lúpulo: uma revisão histórica. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 3, p. 1373-1394, 2022.
- SPÓSITO, M. et al. Aspectos botânicos e produtivos do lúpulo em climas tropicais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 43, n. 2, p. 80-92, 2019.
- CASTRO, P. R. C. Mecanismo de ação auxínica. *Anais da ESALQ*, v. 36, p. 621-634, 1979.
- HARTMANN, H. T. et al. *Plant propagation: principles and practices*. 8. ed. Boston: Prentice Hall, 2011.
- HAWRYLAK-NOWAK, B. et al. Seaweed extracts as biostimulants in plant production. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, p. 1125-1135, 2019.
- BRONDANI, G. C. et al. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana*. *Revista Árvore*, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.
- DUARTE, M. M. et al. Potencial de utilização de *Azospirillum brasilense* e ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de jasmim-amarelo. *Advances in Forestry Science*, v. 7, p. 89-98, 2020.
- NOZAKI, M.; LORENZATTO, R.; MANCINI, M. *Azospirillum brasilense* na promoção do crescimento radicular de gramíneas e culturas perenes. *Cultivando Saber*, v. 12, p. 72-82, 2019.

SILVA, K. da. et al. Seleção de bactérias promotoras de crescimento para o enraizamento de *Pinus* spp. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 41, e202102120, 2021.

VANACOR PEIXOTO, M. et al. Enraizamento e aclimatização de vitroplantas de lúpulo: primeiros resultados. In: *XIV SICIT*, 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SEAPI, 2025.

BREWINGSCIENCE. Hardening and biostimulant application on root development of hop micropropagated plantlets. *BrewingScience*, v. 75, p. 18-24, 2022.

FINK, J. et al. Produção de mudas e desenvolvimento do lúpulo em solo com diferentes valores de pH e doses de potássio. *Ciência do Solo*, v. 40, n. 1, p. 13-23, 2022.

SEAPDR. *Projeto incentiva plantio de lúpulo no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: SEAPDR, 2020.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant Propagation: principles and practices**. 8. ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

(PDF) Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus*), effect of ..., acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/376985211_Vegetative_propagation_of_hops_Humulus_lupulus_effect_of_biostimulants_size_and_position_of_cuttings

Effect of growth regulators on hop (*Humulus lupulus* L.) propagation - ResearchGate, acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/386027818_Effect_of_growth_regulators_on_hop_Humulus_lupulus_L_propagation

Mapa do Lúpulo Brasileiro: produtividade atinge recorde em 2024 - Guia da Cerveja, acessado em maio 16, 2026, <https://guiadacervejabr.com/produtividade-do-lupulo-no-pais-atinge-recorde-aponta-mapa-do-lupulo-brasileiro/>

(PDF) Effect of different cytokinin concentrations on establishing an in vitro micropropagation system for hop (*Humulus lupulus* L.) - ResearchGate, acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/388737633_Effect_of_different_cytokinin_concentrations_on_establishing_an_in_vitro_micropropagation_system_for_hop_Humulus_lupulus_L

Projeto pode reposicionar Brasil e tornar país em referência global do mercado de lúpulo, acessado em maio 16, 2026, <https://www.tribuna.com.br/noticias/brasil-e-economia/projeto-pode-reposicionar-brasil-e-tornar-pais-em-referencia-global-do-mercado-de-lupulo-1.514077>

IMPORTÂNCIA ECONOMICA E MEDICINAL DE *Humulus lupulus* : UMA REVISÃO -

SciSpace, acessado em maio 16, 2026, <https://scispace.com/pdf/importancia-economica-e-medicinal-de-humulus-lupulus-uma-510y5i52wv.pdf>

Prospecção Tecnológica do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas Aplicações com Ênfase no Mercado Cervejeiro Brasileiro - Semantic Scholar, acessado em maio 16, 2026, <https://pdfs.semanticscholar.org/a808/edf5f0a8b287e62cec217beb15f10ac59e47.pdf>

(PDF) Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus* L.): Historical approach and perspectives - ResearchGate, acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/359642567_Vegetative_propagation_of_hops_Humulus_lupulus_L_Historical_approach_and_perspectives

LÚPULO NO BRASIL: PERSPECTIVAS E REALIDADES - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Portal Gov.br, acessado em maio 16, 2026, https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/livro_lupulo-no-brasil-perspectivas-e-realidade_baixa_semmarcacao.pdf

Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell - SciELO, acessado em maio 16, 2026, <https://www.scielo.br/j/rarv/a/KDdxvwpYxBfq5RBRgbRwWYq/?format=html&lang=pt>

(PDF) FATORES CAUSAIS RIZOGÊNESE INCOMPLETA - ResearchGate, acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/376562394_FATORES_CAUSAIS_RIZOGENESE_INCOMPLETA

Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus*), effect of biostimulants, size and position of cuttings - Revista Udesc, acessado em maio 16, 2026, <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/download/24149/16527/103189>

ÁCIDO INDOLBUTÍRICO E INCISÃO NO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS DE *Maytenus ilicifolia* Mart. Ex Reissek TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II, acessado em maio 16, 2026, https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29789/1/DV_COAGR_2018_2_32.pdf

Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e ..., acessado em maio 16, 2026, <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/20585/18316/249586>

Formas de aplicação de *Azospirillum brasilense* na produção de forragem do campo nativo, acessado em maio 16, 2026, <https://guaiaca.ufpel.edu.br/xmlui/handle/prefix/15159>

Edição Especial, 2019. Estacas de videira submetidas a ácidos húmicos, inoculante e ácido indolbutírico em diferentes subs - Revista Cultivando o Saber, acessado em maio 16, 2026, <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/download/971/892/>

Yield Performance and Phytochemical Stability of 'Comet' Hop ..., acessado em maio 16, 2026, <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/22/3516>

Combined effect of rooting medium and biostimulant application on morphological traits of

micropropagated hop plantlets - Brewing Science, acessado em maio 16, 2026, <https://brewingscience.de/index.php/brewingscience/article/download/531/537>

PRODUÇÃO DE LÚPULO NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE: MANUAL DE BOAS PRÁTICAS - Infoteca-e, acessado em maio 16, 2026, <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1144201/1/Manual-de-boas-praticas-de-Lupulo.pdf>

Projeto incentiva plantio de lúpulo no Rio Grande do Sul, acessado em maio 16, 2026, <https://www.agricultura.rs.gov.br/projeto-incentiva-plantio-de-lupulo-no-rio-grande-do-sul>

A cultura do lúpulo - ESALQ - USP, acessado em maio 16, 2026, <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR68.pdf>

An Updated Review of the Genus Humulus: A Valuable Source of Bioactive Compounds for Health and Disease Prevention - PMC, acessado em maio 16, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9782902/>

(PDF) Humulus Lupulus l. In Campos de Cima da Serra / RS / Brazil - ResearchGate, acessado em maio 16, 2026, https://www.researchgate.net/publication/386497859_Humulus_Lupulus_l_In_Campos_de_Cima_da_Serra_RS_Brazil

Concentração de AIB na brotação de estacas semilenhosas de pessegueiro IBA concentration in the broading of semiwood peach c - Dialnet, acessado em maio 16, 2026, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10265461.pdf>

FATORES CAUSAIS RIZOGÊNESE INCOMPLETA | REMUNOM - UJN, acessado em maio 16, 2026, <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/2067>

EFEITO DA ÉPOCA DE ESTAQUIA, FITORREGULADORES E ÁCIDO BÓRICO NO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS DE PORTA-ENXERTOS DE VIDEIRA - SciELO, acessado em maio 16, 2026, <https://www.scielo.br/j/sa/a/sBRQcXsG68YX4fLKfMz3ffm/?format=pdf&lang=pt>

PRODUÇÃO DE MUDAS E DESENVOLVIMENTO DO LÚPULO EM SOLO COM DIFERENTES VALORES DE pH e DOSES DE POTÁSSIO - SciELO, acessado em maio 16, 2026, https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672022000100013

Redalyc.Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de Eucalyptus cloeziana F. Muell, acessado em maio 16, 2026, <https://www.redalyc.org/pdf/488/48831311.pdf>

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE LÚPULO (Humulus lupulus L.) POR MINIESTAQUIA EM DIFERENTES TEMPOS DE RETIRADA DE CÂMARA DE NEB - UENF, acessado em maio 16, 2026, <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2023/02/JULIANA-VENTURA-LIBERADA.pdf>

Influência do AIB (ácido indolbutírico) e do tipo de estacas sobre o enraizamento do porta enxerto de videira IAC 572. - Portal Embrapa, acessado em maio 16, 2026, <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/132533/influencia-do-aib-acido-indolbutirico-e-do-tipo-de-estacas-sobre-o-enraizamento-do-porta-enxerto-de-videira-iac-572>

EFEITO DO ÁCIDO INDOLBUTÍRICO NO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS HERBÁCEAS DE DOIS PORTA-ENXERTOS DE PESSEGUEIRO1, acessado em maio 16, 2026, <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/999/920>

INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* VIA VINHAÇA NO CULTIVO DE ALFACE - Centro Científico Conhecer, acessado em maio 16, 2026, <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2022D/inoculacao.pdf>

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS NÃO SIMBIÓTICAS E ENRAIZAMENTO DE ESTACAS SEMILENHOSAS DE OLIVEIRA (*Olea europaea* L.) - SciELO, acessado em maio 16, 2026, <https://www.scielo.br/j/cflo/a/9YMdTbv46tVc6SG7NCpYwRK/?lang=pt>

LOPES, VR et al. Enraizamento de estacas... - CABI Digital Library, acessado em maio 16, 2026, <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143069433>

Efeitos de substratos, valores de pH, concentrações de AIB no enraizamento de estacas apicais de jabuticabeira [Myrciaria jabu, acessado em maio 16, 2026, <https://www.ipecf.br/publicacoes/scientia/nr69/cap07.pdf>

efeito de diferentes concentrações de aib e procedências geográficas no enraizamento de estacas de paricá - SciELO, acessado em maio 16, 2026, <https://www.scielo.br/j/cflo/a/hWpdXHdLQXYgWZPGjG4X4dz/?lang=pt>

Efeito do AIB sobre o enraizamento e desenvolvimento de estacas de quivi (Actinidia deliciosa) - SciELO, acessado em maio 16, 2026, <https://www.scielo.br/j/cr/a/C9CxM55YLs5zWJ8nLPM4yDP/?lang=pt>

APROLÚPULO | MAPA DO LÚPULO BRASILEIRO 2024 - Guia da Cerveja, acessado em maio 16, 2026, <https://guiadacervejabr.com/wp-content/uploads/2026/03/APROLUPULO-MAPA-DO-LUPULO-BRASILEIRO-2024.pdf>

Lúpulo no Brasil: Uma cultura promissora em ascensão | Food Science Today, acessado em maio 16, 2026, <https://www.journals.royaldataset.com/fst/article/view/65>