

Efeito do ácido indolbutírico e de extratos naturais no enraizamento de estacas de cafeeiro (*Coffea canephora* L.) usando solo e serradura como substrato

Nzola Manuel Teca

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia

Orientador:

Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Coorientador:

José Mahinga

Bragança

2025

*Este trabalho dedico a familia Teca, ao meu filho
Keyano Zinguila Teca
A todos que direta ou indiretamente me apoiaram nesta caminhada...*

AGRADECIMENTOS

O culminar de um trabalho de final de curso é sempre um momento de grande alegria e satisfação para o autor. Entretanto, a sua elaboração é sempre animada por momentos sinuosos e de grande frustração, o que, em determinados momentos, acaba por causar bastante isolamento e solidão. Mas a força de vontade, animada essencialmente pelo espírito de colaboração com especial destaque para os professores, amigos e família foi crucial para o ressurgimento de novas forças que permitiram a conclusão do trabalho.

Neste sentido, manifesto a minha enorme gratidão ao Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues, pela orientação, paciência durante jornada académica pela sua pronta e interminável disponibilidade para o aperfeiçoamento constante do trabalho. De facto, mesmo em momentos mais complicados do processo, manifestou um elevado espírito de humanismo e profissionalismo, daí o meu “Muito obrigado, Professor!”

Ao Instituto Superior Politécnica de Bragança (IPB), em especial a Escola Superior Agrária (ESA), pela oportunidade de ingresso a esta escola e ter apoiado grandemente nas pesquisas realizadas.

Ao Projecto de Desenvolvimento da Agricultura Comercial (PDAC), pela cooperação celebrada com a Escola Superior Agrária de Bragança.

Minhas irmãs Luísa António Teca, Isabel Manuel Teca, aos meus irmãos, Manuel António, António Manuel Teca, Simão Manuel Teca, André Manuel Teca e João Simão, por todo o apoio, incentivo e carinho ao longo da minha graduação, dedico.

Ao Eduardo Gomes, Diretor Provincial da Agricultura Pecuárias e Pescas do Uíge, obrigado pelo incentivo. A todos colegas do Gabinete, em especial a Anabela Francisco pela entrega na realização das pesquisas de campo o meu muito obrigado.

Aos meus colegas, em especial Domingos Setas Manuel Mateus, Eduardo António Nimi Pedro António Obrigado pelo apoio. Agradeço por todo apoio.

Aos Meus Amigos, por todo apoio, amizade, companheirismo e carinho.

A todos do grupo de pesquisa do Instituto Nacional de Café (INCA), agradeço, por todos os momentos, aventuras, conhecimentos e aprendizado ao longo da graduação.

A todos os professores do Curso de Agroecologia e demais professores de outros Cursos que estiveram em sala de aula transmitindo conhecimentos teóricos e práticos, que foram de grande relevância. A todos os técnicos e funcionários do IPB o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do bioestimulante comercial à base de ácido indolbutírico (AIB) e dos extratos naturais de babosa (*Aloe vera*) e batata-doce (*Ipomoea batatas*) no enraizamento de estacas de café-robusta (*Coffea canephora*). O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Nacional do Café (INCA), em Uíge, Angola, durante 90 dias. Foram coletadas 320 estacas de 64 plantas matrizes, distribuídas em quatro tratamentos (AIB, extrato de babosa, extrato de batata-doce e testemunha) com quatro repetições em um delineamento experimental completamente casualizado. O substrato utilizado foi uma mistura de areia e serradura compostada. As estacas foram submetidas a imersão rápida nos bioestimulantes antes do plantio: AIB (100 mL L⁻¹, solução hidroalcolica, por 5 segundos), extrato de babosa (400 mL L⁻¹) e extrato de batata-doce (300 mL L⁻¹). A irrigação foi realizada manualmente com pulverizador. A coleta de dados ocorreu em intervalos de 30, 60 e 90 dias, avaliando os seguintes parâmetros: percentagem de estacas mortas; brotações ativas e dormentes; estacas enraizadas; número e comprimento das raízes; comprimento e diâmetro do caule. Os resultados demonstraram que AIB e babosa foram os tratamentos mais eficazes para o enraizamento e desenvolvimento das estacas. A taxa de mortalidade foi significativamente menor nos tratamentos com AIB (6,3%) e babosa (18,8%), em comparação à testemunha (36,3%). O AIB promoveu uma maior percentagem de enraizamento (82,8%), seguida pela babosa (75,9%), enquanto a testemunha e o extrato de batata-doce apresentaram os menores valores. Quanto ao crescimento radicular, a babosa destacou-se com um comprimento máximo de raiz de 59,4 cm, superando o AIB com 55,0 cm. O diâmetro do caule apresentou melhor uniformidade no tratamento com extrato de babosa, sugerindo uma influência positiva na estabilidade das mudas. De modo geral, os tratamentos com AIB e babosa mostraram-se promissores para a propagação clonal café-robusta, podendo ser recomendados para otimizar o processo de enraizamento e melhorar o estabelecimento inicial das mudas.

Palavras-chaves: Café-robusta, enraizamento de estacas, AIB, *Aloe vera*, *Ipomoea batatas*, bioestimulantes naturais.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of the commercial biostimulant based on indole-3-butyric acid (IBA) and natural extracts of aloe vera (*Aloe vera*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*) on the rooting of *Coffea canephora* cuttings. The experiment was conducted at the Experimental Station of the National Coffee Institute (INCA) in Uíge, Angola, over 90 days. A total of 320 cuttings were collected from 64 mother plants and distributed among four treatments (IBA, aloe vera extract, sweet potato extract, and control) with four replications in a completely randomized design. The substrate used was a mixture of sand and composted sawdust. The cuttings were subjected to quick immersion in the biostimulants before planting: IBA (100 mL L⁻¹, hydroalcoholic solution, for 5 seconds), aloe vera extract (400 mL L⁻¹), and sweet potato extract (300 mL L⁻¹). Irrigation was manually performed using a sprayer. Data collection occurred at 30, 60, and 90-day intervals, evaluating the following parameters: percentage of dead cuttings, active and dormant shoots, rooted cuttings, number and length of roots, stem length, and stem diameter. The results demonstrated that IBA and aloe vera were the most effective rooting and shoot development treatments. The mortality rate was significantly lower in the IBA (6.3%) and aloe vera (18.8%) treatments compared to the control (36.3%). IBA promoted the highest rooting percentage (82.8%), followed by aloe vera (75.9%), while the control and sweet potato extract had the lowest rooting rates. Regarding root growth, aloe vera showed the greatest maximum root length (59.4 cm), surpassing IBA (55.0 cm). Stem diameter was more uniform in the aloe vera extract treatment, suggesting a positive influence on seedling stability. Overall, the IBA and aloe vera treatments proved promising for the clonal propagation of *Coffea robusta* and can be recommended to optimize the rooting process and improve the initial establishment of seedlings.

Keywords: *Coffea robusta*, cutting Propagation, IBA, *Aloe vera*, *Ipomoea batatas*, natural biostimulants.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS..... | II |
| RESUMO..... | III |
| ABSTRACT..... | IV |
| ÍNDICE..... | DE |
| FIGURAS..... | VII |
| LISTA DE TABELA..... | IX |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | X |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. Origem e história do café..... | 3 |
| 2.2. Importância do café no mundo..... | 3 |
| 2.3. Variedades de café produzidas em Angola..... | 4 |
| 2.4. Propagação vegetativa do cafeeiro..... | 5 |
| 2.1.1. Importância da propagação vegetativa..... | 5 |
| 2.1.2. Técnicas de propagação de café robusta..... | 5 |
| 2.1.3. Vantagens e desafios da propagação por estacas..... | 6 |
| 2.2. Fisiologia do enraizamento..... | 7 |
| 2.2.1. Mecanismos de formação de raízes..... | 7 |
| 2.2.2. Fatores que afetam o enraizamento..... | 7 |
| 2.2.3. Função e importância das hormonas vegetais no enraizamento..... | 8 |
| 2.3. Hormonas comerciais no enraizamento de estacas..... | 9 |
| 2.3.1. Tipos de hormonas utilizadas..... | 9 |
| 2.3.2. Mecanismo de ação do ácido indolbutírico..... | 9 |
| 2.3.3. Estudos e resultados anteriores sobre ácido indolbutírico..... | 10 |
| 2.4. Bioestimulantes naturais..... | 11 |
| 2.4.1. Definição e tipos de bioestimulantes naturais..... | 11 |
| 2.4.2. Propriedades do gel de babosa..... | 12 |
| 2.4.3. Propriedades da batata-doce no enraizamento..... | 12 |
| 2.4.4. Comparação entre bioestimulantes naturais e hormonas sintéticas..... | 12 |
| 2.5. Substratos para enraizamento..... | 13 |
| 2.5.1. Características físicas e químicas de substratos..... | 13 |
| 2.5.2. Uso de solo e serradura como substratos..... | 14 |
| 2.5.3. Efeitos dos diferentes substratos no enraizamento..... | 14 |
| 2.6. Condições ambientais no enraizamento..... | 15 |
| 2.6.1. Influência do clima e do solo no desenvolvimento das estacas..... | 15 |

| | |
|---|----|
| 2.6.2. Importância do controle de humidade e temperatura | 15 |
| 2.7. Metodologias de avaliação do enraizamento..... | 16 |
| 2.7.1. Critérios para avaliação do sucesso no enraizamento..... | 16 |
| 2.7.2. Técnicas para a colheita e análise de dados..... | 16 |
| 2.7.3. Critérios para avaliação de estacas enraizadas | 17 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 18 |
| 3.1. Descrição da área em estudo | 18 |
| 3.2. Delineamento experimental..... | 19 |
| 3.2.3 Atividades desenvolvidas na materialização do experimento | 20 |
| 3.4. Análise Estatística..... | 26 |
| 4. RESULTADOS | 27 |
| 4.1. Estacas mortas | 27 |
| 4.2. Estacas vivas e não brotadas..... | 28 |
| 4.3. Estacas com brotações | 30 |
| 4.4. Estacas com brotações ativas..... | 31 |
| 4.5. Estacas com brotações dormentes | 32 |
| 4.6. Estacas enraizadas | 33 |
| 4.7. Estacas não enraizadas..... | 34 |
| 4.8. Comprimento mínimo das raízes | 36 |
| 4.9. Comprimento máximo das raízes | 37 |
| 4.10. Média de folhas por estaca | 38 |
| 4.11. Raízes por estaca..... | 39 |
| 4.12. Comprimento do caule | 40 |
| 4.13. Diâmetro do caule..... | 40 |
| 5. DISCUSSÃO | 42 |
| 5.1. Estacas mortas | 43 |
| 5.2. Estacas vivas e não brotadas..... | 44 |
| 5.3. Estacas com brotações | 45 |
| 5.4. Estacas com brotações ativas..... | 46 |
| 5.5. Estacas com brotações dormentes | 47 |
| 5.6. Estacas enraizadas e não enraizadas..... | 48 |
| 5.7. Comprimento mínimo e máximo das raízes | 49 |
| 5.8. Média de folhas por estaca | 50 |
| 5.9. Média de raízes por estaca..... | 50 |
| 5.10. Comprimento do caule..... | 51 |
| 5.11. Diâmetro do caule..... | 52 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 6. CONCLUSÃO..... | 54 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |
| 8. ANEXOS..... | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Delineamento experimental..... | 19 |
| Figura 2: (A) Identificação das plantas matriz (B e C) colheita das estacas..... | 21 |
| Figura 3: (A) Seleção de substrato, (B) crivagem de areia, (C) pesagem do substrato, e (D) mistura do substrato e enchimento das bolsas. | 21 |
| Figura 4: (A) Bacia com a água do rio; (B) corte do caule; e (C) caule mergulhado na banheira com água. | 22 |
| Figura 5: (A) Álcool sanitário e hormona comercial; (B) pesagem da hormona comercial na balança de precisão; (C) pesagem percentual do álcool sanitário; e (D) medição da quantidade de água do rio a usar na solução. | 23 |
| Figura 6: (A) Planta de babosa; (B) folhas da babosa; (C) corte em pedaços da babosa e trituração da babosa no liquidificador; e (D) solução obtida após a trituração da babosa..... | 23 |
| Figura 7: (A) Seleção da batata-doce; (B) corte da batata-doce em cubos; (C) adição de 100 ml de água do rio; e (D) trituração da batata-doce no liquidificador. | 24 |
| Figura 8: (A) Bolsas com substrato no propagador; (B) introdução da estaca na solução preparada; (C) colocação das placas de identificação nos sacos polietilenos; e (D) arrumação das amostras no propagador. | 25 |
| Figura 9: Dados climáticos de temperatura máxima, mínima e média registados durante a condução do experimento. | 27 |
| Figura 10: Percentagem de estacas de cafezeiro mortas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 27 |
| Figura 11: Taxa de estacas vivas e não brotadas de cafezeiro aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 29 |
| Figura 12: Taxa de estacas de cafezeiro com brotações aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 30 |
| Figura 13: Percentagem de estacas de café com brotações ativas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostra. | 31 |
| Figura 14: Percentual de estacas com brotos dormentes aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 32 |
| Figura 15: Taxa de enraizamento de estacas de café aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 33 |
| Figura 16: Percentagem de estacas de café não enraizadas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 35 |

| | |
|---|----|
| Figura 17: Comprimento mínimo das raízes aos 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 36 |
| Figura 18: Comprimento máximo das raízes das estacas de café aos 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 37 |
| Figura 19: Média de folhas das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias da instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 38 |
| Figura 20: Média de raízes das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias de observação desde a instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 39 |
| Figura 21: Média do comprimento dos caules das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias de observação desde a instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 40 |
| Figura 22: Diâmetros dos caules das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem. | 41 |

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Propriedades do solo e da serradura decomposta (média±desvio padrão) usada no ensaio. | 20 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS

Instituto Superior Politécnica de Bragança (IPB)

Instituto Nacional de Café (INCA)

Escola Superior Agraria (ESA)

Projecto de Desenvolvimento da Agricultura Comercial (PDAC)

Ácido Indolbutírico (AIB)

Ácido índole acético (AIA)

Ácido naftalenoacético (ANA)

benziladenina (BA)

Complexo de troca catiónica (CTC)

Potencial Hidrogeniónico (pH)

Graus Celsius (°C)

Centímetros (Cm)

Metro quadrado (m²)

Azoto (N)

Potássio (K)

Cálcio (Ca)

Magnésio (Mg)

Carbono (C)

Condutividade eléctrica (CE)

1. INTRODUÇÃO

O café possui uma grande importância no cenário mundial por ser uma das bebidas mais consumidas (Van Kollenburg & Van Weert, 2024). A busca por tecnologias que reduzam os custos de produção e aumentem a produtividade é crucial para a evolução da cafeicultura nos países produtores (Gottstein et al., 2024). Entre as tecnologias disponíveis relacionadas à propagação da planta, a estaquia emerge como uma opção eficiente contribuindo para aumentar a tolerância a pragas, doenças e stresses abiótico e elevar o potencial produtivo da cultura (Vanden et al., 2021).

A estaquia é um método de propagação vegetativa que se destaca pela simplicidade técnica e viabilidade económica na formação de mudas. O sucesso desse método depende de fatores genéticos, fisiológicos, bioquímicos e anatómicos (Vanden et al., 2021), sendo que a formação de raízes ocorre a partir de primórdios radiculares situados próximo ao câmbio vascular (Zamora et al., 2022). Na produção de mudas de cafeeiro, a partir de ramos ortotrópicos, é possível obter plantas geneticamente idênticas à planta-mãe, uma característica desejável para garantir uniformidade em plantações comerciais. Após o corte das estacas, há uma interrupção na disponibilidade de nutrientes e água, além de stress fisiológico devido à separação da planta-mãe, o que pode dificultar o enraizamento (McCook Montero-Mora, 2024).

O género *Coffea* possui duas espécies de maior relevância comercial, *Coffea canephora* L. e *Coffea arabica* L., que originam os cafés robusta e arábica, respetivamente (Vanden et al., 2021; ICO, 2023). Angola, historicamente um grande produtor de café, destaca-se por seu potencial agrícola, em especial na produção café robusta. O país possui condições edafoclimáticas adequadas, com solos e climas favoráveis à produção agrícola, florestal e pecuária. No entanto, a produção de café em Angola, que já foi uma das principais fontes de exportação (representando até 1975 o maior produto exportado), está atualmente em declínio devido ao envelhecimento das plantações e à sua suscetibilidade a pragas e doenças (Ngolo et al., 2018).

Para revitalizar a cafeicultura, Angola tem investido em diversas ações através do Instituto Nacional de Café (INCA), com foco em recuperar a produção, realizar extensão rural, pesquisa e comercialização. A espécie robusta domina o cenário angolano,

representando 98% da produção nacional, e é cultivada principalmente nas províncias do Uíge, Cuanza-Norte, Cuanza-Sul, Bengo e Cabinda (Ngolo et al., 2018).

A propagação vegetativa por meio de estacas verdes é amplamente utilizada em países produtores de Café robusta, permitindo a conservação de características desejáveis, como alta produtividade, uniformidade na maturação e resistência a pragas (Ait Hammou et al., 2022; Mofokeng et al., 2021). Além disso, a propagação via estacas elimina a variabilidade genética observada na propagação por sementes, garantindo maior uniformidade nas plantações. O método de enraizamento de estacas é, portanto, amplamente adotado para o café robusta, apresentando vantagens na produção em escala comercial (Busconi et al., 2018; Silva et al., 2021). Diante da importância da qualidade das mudas para o sucesso das plantações de café robusta, o enraizamento eficiente de estacas torna-se um fator crucial.

A otimização desse processo é vital para garantir o sucesso na implantação de novas plantações e a sustentabilidade a longo prazo da cafeicultura angolana. No entanto, pouco se sabe sobre o efeito de diferentes bioestimulantes naturais e hormonas comerciais no processo de enraizamento de estacas de café robusta, especialmente considerando diferentes tipos de substratos, como areia e serradura decomposta.

Nesse contexto, o presente estudo busca investigar o impacto de hormona comercial AIB e bioestimulantes naturais, como o extrato da babosa e batata-doce, no enraizamento de estacas de café robusta, utilizando areia e serradura decomposta como substrato.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Origem e história do café

A planta de café arábica, conhecida cientificamente como *Coffea arabica*, é originária das terras altas da Etiópia, no continente africano. De lá, espalhou-se para outras regiões, como a Arábia, o Iémen e a Península Arábica. Ao longo dos anos, a expansão do cultivo de café arábica foi essencial para o crescimento e desenvolvimento da indústria do café (Munyendo et al., 2023). A história do café robusta é mais recente (Kouadio et al., 2021). A disseminação da planta do café robusta começou próxima do rio Lomami (um afluente do Rio Congo na África Central) (Campuzano-Duque & Blair, 2022) por volta de 1870. Foi através de um viveiro em Bruxelas, que o café robusta mudou do Congo Belga (República Democrática do Congo), onde se originou, para Java (Berhanu & Dalle, 2022). Atualmente, estão a ser desenvolvidas novas variedades de café em diferentes regiões tropicais do mundo (Akpertey et al., 2022).

Angola, por seu lado, tem um longo historial de produção de café, tendo as primeiras plantações sido estabelecidas na década de 1830. Em 1835 era já cultivado na região do Cazengo (Cuanza Norte). Em 1890 iniciou-se o seu cultivo em Amboim (Cuanza Sul) e em 1905 a produção estendeu-se a Cabinda. No ano 1912 começou a ser cultivado na região do Uíge, expandindo-se rapidamente por toda a região de floresta no norte de Angola (Ngolo et al., 2018).

1.2. Importância do café no mundo

O café é uma das matérias-primas com maior importância no comércio internacional, sendo a mercadoria mais comercializada depois do petróleo. É consumido há mais de 1000 anos, e hoje é a bebida processada mais consumida no mundo. São várias as razões que levam esta bebida a ser tão popular. Para muitos, o “café” é um pequeno prazer, um motivo de convívio, o pretexto de um ritual de sociabilidade ou até um vício (Schafer et al., 2015).

Devido ao seu efeito estimulante, é considerado um tónico que fornece a energia necessária para continuar as tarefas do dia-a-dia e um companheiro insubstituível em dias seguidos de trabalho (Kahsay et al., 2023; Munyendo et al., 2023; ICO 2023).

O cultivo, processamento, transporte e comercialização do café emprega milhões de pessoas em todo o mundo. A produção de café é fulcral para a economia e política dos países em vias de desenvolvimento tais como África tropical ocidental ao Sudão do Sul, Etiópia, Uganda, Costa do Marfim e norte de Angola. (McCook & Montero-Mora, 2024; Ngolo et al., 2018; Vanden Abeele et al., 2021; Zamora et al., 2022; ICO 2023).

1.3. Variedades de café produzidas em Angola

O *Coffea arabica* é uma das duas espécies principais na produção de café, sendo considerada de maior qualidade que a outra espécie predominante, o *Coffea robusta*. O café arábica representa cerca de 70% da produção mundial, enquanto a robusta cobre os 30% restantes (Purwanto et al., 2023). Em Angola todas estão agrupadas com o mesmo nome comercial de robusta, o que explica a confusão habitual entre os termos “*canephora*” e “*robusta*” quando se refere o nome da espécie. As variedades Amboim, Ambriz e Cazengo são três ecótipos espontâneos de *C. canephora* nativos das regiões de Cuanza Sul, Uíge e Cuanza Norte, respetivamente. Estes ecótipos são cultivados apenas em Angola.

Estes ecótipos tradicionais são variedades particularmente interessantes porque estão adaptadas às condições locais (Vanden et al., 2021). Eles são encontrados nas regiões mais ao norte de Angola, onde a altitude é muito baixa, normalmente inferior a 1200 m. A espécie arábica desenvolve-se em altitudes iguais ou superiores a 1200 m (Ngolo et al., 2018; Bessou et al., 2020).

Em Angola, a produção de café enfrenta desafios significativos, como o envelhecimento das plantações, a falta de renovação de cultivares e a gestão predominantemente realizada por agricultores de maior idade, reflexo da baixa adesão da nova geração à atividade agrícola. Esses fatores contribuem para a redução da produtividade e das áreas cultivadas. Particularmente no Uíge, observa-se que a propagação vegetativa do café, quando realizada sem o uso de reguladores de crescimento, apresenta resultados limitados, evidenciando a necessidade urgente de métodos eficazes, economicamente viáveis e ecologicamente corretos.

1.4. Propagação vegetativa do cafeeiro

2.1.1. Importância da propagação vegetativa

A propagação vegetativa do cafeeiro com o uso de caule, especialmente café robusta, desempenha um papel crucial na manutenção e melhoria da produtividade e qualidade das plantações. Este método de propagação permite a clonagem de plantas-mãe, que apresentam características desejáveis, como resistência a pragas e doenças, alto rendimento e qualidade superior de grãos (Silva et al., 2022; Ngure et al., 2024). Além disso, a propagação vegetativa assegura a uniformidade genética, crucial para a consistência das plantações comerciais.

Estudos indicam que a propagação vegetativa é particularmente benéfica em regiões onde as condições ambientais podem ser adversas, proporcionando às novas plantas uma base genética robusta que favorece o sucesso do cultivo (Chichipe et al., 2021; Zamora et al., 2022). A capacidade de perpetuar genótipos superiores é fundamental para o melhoramento contínuo das culturas de café e para a sustentabilidade das plantações a longo prazo.

2.1.2. Técnicas de propagação de café robusta

Diversas técnicas de propagação vegetativa são empregues para o cafeeiro, incluindo a propagação por estacas (Paulus et al., 2014; Bergo & Mendes, 2000). A propagação vegetativa artificial é um tipo de reprodução vegetal que é realizada através de meios artificiais envolvendo intervenção humana. Os tipos mais comuns de técnicas reprodutivas vegetativas artificiais, envolvem estaquia, enxertos e cultura de tecidos. Esses métodos são empregues por muitos agricultores e horticultores para produzir culturas mais saudáveis com qualidades mais desejáveis (Lima et al., 2013).

1. **Estaquia** – Parte da planta com muitas gemas, tipicamente o caule, é cortada e plantada. As raízes adventícias se desenvolvem a partir das estacas e uma nova planta eventualmente se forma. As estacas são às vezes tratadas com hormonas antes de serem plantadas, para induzir o desenvolvimento de raízes (Étienne et al., 2025). A propagação por estacas é amplamente utilizada devido à sua simplicidade e eficácia. Este método envolve o corte de segmentos de ramos de plantas-mãe saudáveis e seu enraizamento em condições controladas.

2. **Enxerto** – Corta-se parte de uma planta desejada, fixando-a no caule de outra planta que permanece enraizada no chão. Eventualmente, os sistemas de tecido do caule cortado integram-se aos sistemas de tecido da planta enraizada (Ferrão et al., 2022). A enxertia, embora mais complexa, é útil para introduzir resistência a doenças e melhorar a adaptação a diferentes condições de solo.

3. **Camadas** – Este método envolve dobrar ramos de plantas ou caules para que eles toquem o chão. As porções de ramos ou caules em contato com o solo são então cobertas. As raízes adventícias se desenvolvem nas partes cobertas pelo solo e dão origem a novas raízes conhecidas como camadas (Ferrão et al., 2022; Etienne et al., 2025). As raízes adventícias desenvolvem-se onde os galhos foram raspados e os ramos são removidos da árvore e plantados (Zamora et al., 2022).

4. **Cultura de tecidos**- Esta técnica envolve a cultura de células de plantas que podem ser retiradas de diferentes partes de uma planta-mãe. O tecido é colocado em um recipiente esterilizado e nutrido em um meio especial até formar uma massa de células conhecida como *calli*. O *calli* é, então, cultivado em um meio com hormonas vegetais ou fitorreguladores e origina plântulas (Mofokeng et al., 2021). A cultura de tecidos, apesar de ser mais avançada tecnologicamente e mais custosa, permite a produção em massa de plantas geneticamente idênticas a partir de pequenas amostras de tecido vegetal.

2.1.3. Vantagens e desafios da propagação por estacas

A propagação por estacas apresenta várias vantagens. Primeiramente ela permite a produção rápida de um grande número de plantas uniformes em curto espaço de tempo, garantindo a homogeneidade das plantações. Esta técnica também é menos dependente das condições climáticas em comparação com a propagação por sementes, tornando-a uma opção mais previsível e controlável (Mofokeng et al., 2021; Zamora et al., 2022). Além disso, a propagação por estacas é uma prática relativamente simples e económica, acessível a produtores de diferentes escalas.

No entanto, este método também enfrenta desafios. Um dos principais obstáculos é a variabilidade na taxa de enraizamento, que pode ser influenciada por fatores como a idade da planta-mãe, a época do ano, e as condições de cultivo (Chichipe et al., 2021).

Além disso, o uso inadequado de hormonas ou fitorreguladores de enraizamento pode levar a resultados inconsistentes ou danificar as estacas (Pinho et al., 2000).

A suscetibilidade a doenças e pragas durante o estágio de enraizamento também representa um risco significativo. Portanto, é essencial que os produtores adotem práticas de manejo rigorosas e utilizem tecnologias apropriadas para maximizar o sucesso do enraizamento e o vigor das plantas propagadas.

2.2. Fisiologia do enraizamento

2.2.1. Mecanismos de formação de raízes

O enraizamento das estacas de plantas, incluindo o cafeeiro, envolve uma série de processos fisiológicos complexos. A formação de raízes inicia-se com a reprogramação das células meristemáticas no local de corte da estaca (Nicknich et al., 2013). Estas células passam por divisões celulares intensas, formando uma massa de células indiferenciadas conhecida como *calli*. Subsequentemente, células específicas dentro do *calli* se diferenciam em primórdios radiculares, que eventualmente se desenvolvem em raízes adventícias (Andrade, 2021; Pinho et al., 2000). Este processo é mediado por sinalizações hormonais, principalmente envolvendo auxinas, que promovem a divisão celular e a formação de raízes. Estudos indicam que a aplicação exógena de auxinas, como AIB, pode acelerar significativamente o desenvolvimento de raízes adventícias em estacas de café (Andrade, 2021).

2.2.2. Fatores que afetam o enraizamento

Diversos fatores podem influenciar o sucesso do enraizamento de estacas de plantas. Entre os principais fatores estão:

1. **Genótipo da planta-mãe** - Plantas-mãe de diferentes genótipos possuem variações naturais na capacidade de enraizamento. A variedade de café robusta, por exemplo, pode apresentar diferentes taxas de sucesso no enraizamento devido a suas características genéticas específicas (Sakai et al., 2015; Zamora et al., 2022).

Segundo Sakai et al. (2015) a capacidade de enraizamento é influenciada pelas condições de crescimento, de idade e de características internas da planta-mãe, tais como o conteúdo em água, teor de reservas e de nutrientes e o nível hormonal na ocasião da coleta das estacas.

2. **Tipo de estaca** - A escolha do tipo de estaca a ser utilizada tem grande importância, principalmente para aquelas espécies com dificuldade de formar raízes adventícias. Em relação à posição ocupada no ramo de origem, as estacas podem ser apicais (ou terminais), medianas ou basais. Existem diferenças marcantes na composição química da base ao ápice dos ramos e, assim, são observadas variações na formação de raízes de estacas feitas de diferentes partes dos ramos. Quanto à consistência e grau de lignificação dos tecidos, as estacas podem ser herbáceas, semilenhosas ou lenhosas (Lima, 2021).

3. **Condições ambientais** - A temperatura, humidade, e luminosidade do ambiente onde as estacas são mantidas desempenham um papel crucial. Temperaturas moderadas e alta humidade relativa favorecem a formação de raízes, enquanto condições extremas podem inibir o processo (Lima, 2021).

4. **Estado fisiológico da estaca** - A idade e o vigor da estaca influenciam significativamente o enraizamento. Estacas jovens e vigorosas, coletadas de ramos saudáveis, geralmente enraízam mais rapidamente e com maior sucesso (Pinho et al., 2000; Andrade, 2021).

5. **Tratamentos pré-plantação** - A aplicação de hormonas de enraizamento e a utilização de substratos adequados são essenciais para o sucesso do enraizamento. Substratos bem arejados e ricos em nutrientes proporcionam um ambiente ideal para o desenvolvimento radicular (Pinho et al., 2000). Estudos mostram que o uso de reguladores de crescimento, como o AIB, podem melhorar significativamente a taxa de enraizamento e o vigor das estacas (Andrade, 2021).

2.2.3. Função e importância das hormonas vegetais no enraizamento

As hormonas vegetais desempenham um papel vital no processo de enraizamento das estacas. Entre as hormonas mais importantes estão as auxinas, que são cruciais para a formação de raízes adventícias. As auxinas, como o ácido indole acético (AIA) e o AIB, promovem a divisão celular e o alongamento, facilitando o desenvolvimento de novas raízes a partir dos *callus* formados nas estacas (Andrade, 2021; McCook & Montero-Moro, 2024; Pinho et al., 2000).

Além das auxinas, outras hormonas como as citocininas, giberelinas, e ácido abscísico também influenciam o enraizamento. As citocininas, por exemplo, podem retardar o envelhecimento das células e promover a divisão celular, enquanto as giberelinas são

importantes para o alongamento celular. O equilíbrio entre essas hormonas é crucial para o sucesso do enraizamento (Kurepin et al., 2007).

Estudos têm demonstrado que a aplicação exógena de auxinas pode aumentar significativamente a taxa de enraizamento de estacas de café robusta. A utilização de hormonas ou fitorreguladores de enraizamento comerciais, como o AIB, é uma prática comum que tem mostrado resultados consistentes na indução de raízes adventícias (Kentelky et al., 2023). Além disso, o uso de bioestimulantes naturais, como extratos de babosa (*Aloe vera*) e batata-doce (*Ipomoea batatas*), está ganhando popularidade devido à sua eficácia e menor impacto ambiental, promovendo o enraizamento de forma sustentável (Silva et al., 2021).

2.3. Hormonas comerciais no enraizamento de estacas

2.3.1. Tipos de hormonas vegetais utilizadas

As hormonas vegetais são substâncias produzidas naturalmente pelas plantas que controlam as suas funções e desenvolvimento, como o crescimento das raízes e a maturação dos frutos (Kentelky et al., 2023). São elementos importantes e cruciais necessários para controlar o desenvolvimento das plantas ao longo do ciclo de vida, desde a embriogénese até o desenvolvimento reprodutivo, formação de raízes é um processo fisiológico que permite a propagação de estacas de muitas espécies de plantas (Carvalho et al., 2019; Awada et al., 2023)

No enraizamento de estacas, as hormonas vegetais desempenham um papel crucial, especialmente as auxinas. Entre as hormonas ou fitorreguladores comerciais mais utilizados estão AIB, ácido naftalenoacético (ANA) e AIA. O AIB é preferido devido à sua eficácia e estabilidade química, enquanto o ANA também é conhecido por promover o enraizamento em diversas espécies vegetais. Além das auxinas, citocininas como a benziladenina (BA) e a zeatina podem ser usadas para complementar o efeito das auxinas, embora sua principal função seja promover a divisão celular e o desenvolvimento de brotos (Oliveira et al., 2020).

2.3.2. Mecanismo de ação do ácido indolbutírico

O AIB é uma auxina sintética que mimetiza o efeito das auxinas naturais como o AIA. Seu mecanismo de ação envolve a promoção da divisão e alongação celular, fundamentais

para a formação de raízes adventícias (Daskalakis et al., 2017). O AIB atua inicialmente promovendo a formação de *callus* no local de corte das estacas. Esse *callus*, é uma massa de células indiferenciadas, é o precursor das novas raízes (Li et al., 2009). O AIB estimula a expressão de genes relacionados à divisão celular e à diferenciação de células em primórdios radiculares. Estudos indicam que a aplicação exógena de AIB aumenta significativamente a concentração endógena de auxinas nas estacas, acelerando o processo de enraizamento e melhorando a taxa de sucesso (Kaur et al., 2018).

Segundo Oliveira et al. (2020), AIB é um regulador de crescimento, hormona sintética, muito utilizada na propagação de mudas. Trata-se de uma auxina altamente efetiva no estímulo ao enraizamento, devido à sua menor mobilidade, menor fotossensibilidade e maior estabilidade química na planta, acelerando o processo de emergência de primórdios radiculares, aumento no número e qualidade das raízes formadas (Loconsole et al., 2022).

2.3.3. Estudos e resultados anteriores sobre ácido indolbutírico

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia do AIB no enraizamento de estacas de diferentes plantas, incluindo o cafeeiro. Por exemplo, um estudo conduzido por Nicknich et al., (2024) mostrou que a aplicação de AIB em concentrações de 1000 a 3000 ppm resultou em uma taxa de enraizamento superior a 80% em estacas de café robusta.

Outros estudos realizados por Pereira et al. (2001) e Estácio de Sá et al., (2021) destacaram que a aplicação de AIB não só aumentou a quantidade de raízes formadas, mas também melhorou a qualidade das raízes, tornando-as mais robustas e bem desenvolvidas.

Além disso, pesquisas comparativas entre AIB e outras hormonas, como o ANA e o AIA, revelaram que o AIB frequentemente proporciona resultados superiores em termos de velocidade e eficiência de enraizamento (Machado et al., 2005; Abdel-Rahman et al., 2020). Esses estudos reforçam a importância do AIB como uma ferramenta indispensável na propagação vegetativa de plantas, oferecendo uma abordagem eficaz para melhorar a produtividade e a sustentabilidade na agricultura.

2.4. Bioestimulantes naturais

2.4.1. Definição e tipos de bioestimulantes naturais

Os Bioestimulantes surgem como uma ferramenta promissora na agricultura moderna, oferecendo solução potencial para aumentar a produtividade das culturas, além de promover práticas sustentáveis de manejo do solo (Rajesaheb et al., 2024). Desta forma, os bioestimulantes são constituídos por reguladores vegetais ou sintéticos, com vitaminas e micronutrientes, podendo ser divididos em três grupos principais: aminoácidos, substâncias húmicas e extrato de algas (Arejano et al., 2022)

Portanto, a pesquisa sobre estimulantes naturais tem aumentado. Estes são capazes de mitigar stresses abióticos e bióticos, como oscilações climáticas e incidência de pragas e doenças, ao modular a eficiência dos processos fisiológicos na planta, induzir respostas de defesa, potencializar a produtividade, vigor e qualidade das culturas (Frasca et al., 2020). Alguns estudos mostram o grande potencial enraizante de extratos aquoso de plantas, como a babosa, batata-doce, tiririca, grãos de lentilha, grãos de feijão, e o chorão salgueiro (Mohamed, 2009).

Na presente pesquisa utilizaram-se extratos de babosa e batata-doce, seguindo processos específicos de extração e preparação do extrato, servindo assim como um bioestimulante natural a fim de proteger a estaca de fungos e acelerar o enraizamento de estacas de café robusta.

Bioestimulantes naturais são substâncias de origem biológica que, quando aplicadas às plantas, estimulam processos naturais, melhorando a absorção de nutrientes, a tolerância ao stress abiótico e a qualidade das culturas (Arejano et al., 2022; Santos et al., 2022).

Eles podem ser derivados de algas, extratos de plantas, ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos e microrganismos benéficos (Du Jardin, 2015). Esses produtos são utilizados como uma alternativa ou complemento aos fertilizantes e reguladores de crescimento sintéticos, promovendo um crescimento mais sustentável e ecológico (Yakhin et al., 2017).

Os bioestimulantes apresentam-se como ótimos agentes biológicos extremamente versáteis e variados, fornecendo vantagens económicas ao incrementarem a produtividade da planta, além dos benefícios ambientais ao removerem a necessidade de introdução de químicos em meio de plantio (Mohammed et al., 2024). Com base no nosso estilo de vida insustentável, é importante trazer novas metodologias e abordagens para que as comunidades

agrícolas deixem de lado as práticas tradicionais e adotem outras capazes de nos sustentar no futuro (Negrelli et al., 2023).

2.4.2. Propriedades do gel de babosa

A babosa é uma planta conhecida por suas propriedades medicinais e cosméticas, mas seu uso como bioestimulante no enraizamento de estacas também tem ganhado atenção (Abbas et al., 2016). O gel de babosa contém uma variedade de compostos bioativos, incluindo polissacarídeos, giberelinas, auxinas e outras fitohormonas que promovem o enraizamento e o crescimento das plantas. Estudos demonstraram que a aplicação de gel de babosa em estacas pode aumentar significativamente a taxa de enraizamento e a formação de raízes adventícias (Keimusya et al., 2024). Além disso, o gel possui propriedades antimicrobianas que ajudam a proteger as estacas de infecções por patógenos durante o processo de enraizamento (Khalid, 2022).

2.4.3. Propriedades da batata-doce no enraizamento

A batata-doce também é utilizada como bioestimulante devido à sua capacidade de promover o enraizamento de estacas (Bhutto et al., 2024).

Ela contém substâncias como ácido ascórbico, compostos fenólicos e antioxidantes que podem atuar como estimulantes do crescimento radicular. O uso de extrato de batata-doce em estacas de plantas tem mostrado melhorar a formação e o desenvolvimento das raízes, aumentando a taxa de sucesso no enraizamento. Além disso, a batata-doce é uma fonte natural de hidratos de carbono que fornecem energia para o crescimento das raízes (Bhutto et al., 2024).

2.4.4. Comparação entre bioestimulantes naturais e hormonas sintéticas

O crescimento e o desenvolvimento das plantas envolvem uma ampla gama de eventos genéticos, hormonais, metabólicos e ambientais sofisticados que são rigidamente regulados por sinais internos e externos, como fito-hormonas, incluindo vários bioestimulantes e diferentes elicitores orgânicos e inorgânicos (Da Costa 2013 et al.,; Teklić et al., 2021).

Embora tanto os bioestimulantes naturais quanto as hormonas sintéticas promovam o enraizamento de estacas, eles apresentam diferenças significativas em termos de composição, mecanismos de ação e impacto ambiental (Hasanuzzaman et al., 2022). Hormonas sintéticas como AIB são altamente concentrados e específicos em sua ação, proporcionando resultados rápidos e consistentes. No entanto, seu uso prolongado pode levar a efeitos negativos no solo e na microbiota (Leila et al., 2017). Por outro lado, bioestimulantes naturais, como o gel de babosa e o extrato de batata-doce, oferecem uma abordagem mais ecológica e sustentável. Embora possam apresentar variações nos resultados devido à complexidade de seus compostos bioativos, eles geralmente melhoram a saúde geral das plantas e do solo, promovendo um crescimento equilibrado e reduzindo a dependência de produtos químicos (Moreira & Almeida., 2021).

Estudos comparativos indicam que, embora as hormonas sintéticas cheguem a ser mais eficientes em alguns casos em termos de velocidade de enraizamento, os bioestimulantes naturais contribuem para a qualidade e vigor das raízes a longo prazo (Rouphael et al., 2021).

2.5. Substratos para enraizamento

2.5.1. Características físicas e químicas de substratos

Os substratos desempenham um papel crucial no enraizamento de estacas, proporcionando suporte físico, retenção de água, arejamento e um ambiente favorável para o crescimento das raízes (Khalid, 2022). As principais características físicas dos substratos incluem a porosidade, densidade e capacidade de retenção de água. Um bom substrato deve ter alta porosidade para garantir uma adequada aeração e drenagem, evitando o encharcamento que pode levar ao apodrecimento das raízes.

Além disso, a densidade deve ser baixa o suficiente para permitir a fácil penetração das raízes, mas alta o suficiente para fornecer estabilidade à planta (Schafer et al., 2015). Do ponto de vista químico, os substratos devem ter uma capacidade de troca catiónica (CTC) adequada para reter nutrientes essenciais e disponibilizá-los às plantas.

O pH também é um fator crítico, devendo estar em uma faixa que maximize a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana benéfica. Os valores de pH entre 4,5 e 5,5, quando interagem com o substrato de areia, estimulam a formação de raízes na base das estacas (Nzeyimana et al., 2013). Valores de pH maiores de 7,5 e abaixo de 3,5,

estimulam reações que inibem a formação de raízes em estacas apicais. Os substratos ideais são livres de patógenos, sementes de ervas daninhas e nematoides, garantindo um ambiente seguro para o desenvolvimento das estacas (Pereira et al., 2005; Santos et al., 2010; Nzeyimana et al., 2013).

2.5.2. Uso de solo e serradura como substratos

A combinação de solo e serradura como substrato tem sido explorada em várias pesquisas devido à sua disponibilidade e custo-benefício. O solo oferece nutrientes naturais e uma estrutura que favorece a retenção de água e a troca de gases. No entanto, o solo sozinho pode ser pesado e compactar facilmente, limitando o arejamento e a drenagem (Araujo et al., 2017).

A serradura, por outro lado, é um material leve e de alta porosidade que melhora o arejamento e a drenagem quando misturada com o solo. Serradura curtida é especialmente útil, pois passou por um processo de decomposição que reduz a presença de compostos tóxicos e aumenta a estabilidade estrutural. Estudos têm mostrado que a mistura de solo e serradura pode criar um ambiente favorável para o enraizamento de estacas, combinando os benefícios de ambos os componentes (Araujo et al., 2017; Okunlola et al., 2018).

2.5.3. Efeitos dos diferentes substratos no enraizamento

A escolha do substrato pode influenciar significativamente a taxa de enraizamento, o vigor das raízes e a sobrevivência das estacas. Pesquisas indicam que substratos com boas propriedades físicas e químicas promovem um enraizamento mais rápido e eficiente. Por exemplo, substratos bem arejados e com boa retenção de água garantem que as estacas tenham acesso contínuo à umidade necessária para o desenvolvimento das raízes, sem risco de asfixia (Salinas-Ruiz et al., 2021).

Estudos comparativos entre substratos tradicionais e misturas inovadoras mostram que a combinação de solo com materiais orgânicos, como serradura, pode melhorar os resultados do enraizamento. Em particular, a serradura curtida tem se mostrado eficaz na promoção de um ambiente radicular saudável, aumentando a taxa de sobrevivência e a qualidade das raízes desenvolvidas. Além disso, substratos que mantêm uma estrutura estável e evitam a compactação promovem um crescimento mais robusto das estacas (Faizah et al., 2020).

2.6. Condições ambientais no enraizamento

2.6.1. Influência do clima e do solo no desenvolvimento das estacas

As condições climáticas e as características do solo desempenham um papel fundamental no sucesso do enraizamento das estacas. O clima, incluindo a temperatura, humidade e luminosidade, afeta diretamente o metabolismo das plantas e, conseqüentemente, o processo de formação de raízes. Temperaturas amenas e uma humidade relativa elevada tendem a favorecer o enraizamento, enquanto condições extremas de calor ou frio podem retardar ou inibir o desenvolvimento das raízes (Dominghetti et al., 2024). Além disso, as propriedades físicas e químicas do solo, como textura, estrutura, pH e teor de nutrientes, influenciam a disponibilidade de água e nutrientes para as estacas. Solos bem drenados e férteis são essenciais para garantir um suprimento adequado de água e nutrientes durante o processo de enraizamento (Peixoto et al., 2017).

Estudos têm demonstrado que diferentes tipos de solo e condições climáticas podem afetar a taxa e a qualidade do enraizamento das estacas. Por exemplo, solos argilosos retêm mais água, mas podem ser propensos à compactação, enquanto solos arenosos oferecem uma drenagem mais rápida, mas podem exigir uma irrigação mais frequente para manter a humidade adequada (Lachenmeier et al., 2024).

2.6.2. Importância do controlo de humidade e temperatura

O manejo adequado da humidade e da temperatura do ambiente é crucial para o sucesso do enraizamento das estacas. É importante que a humidade do substrato permaneça em níveis ideais, evitando tanto a secagem quanto o excesso de água. A irrigação regular e a utilização de coberturas, como túneis ou nebulizadores, representam opções eficazes para assegurar uma humidade elevada ao redor das estacas, promovendo assim o crescimento das raízes (Arunyanark et al., 2022).

Adicionalmente, a temperatura do ambiente desempenha um papel vital no processo de enraizamento. Condições temperadas, que fiquem entre 20 e 25 °C, são mais adequadas para a maioria das espécies vegetais, uma vez que incentivam o metabolismo e o desenvolvimento radicular. Temperaturas mais baixas podem reduzir a atividade metabólica das plantas, enquanto temperaturas altas podem causar stresse hídrico e prejudicar as raízes em desenvolvimento (Dominghetti et al., 2024). A implementação de sistemas de

aquecimento ou resfriamento, como estufas ou sombreamento, pode ajudar a manter as condições ambientais dentro de faixas desejáveis para o enraizamento, garantindo assim um crescimento saudável das raízes (Tombesi et al., 2018).

2.7. Metodologias de avaliação do enraizamento

2.7.1. Critérios para avaliação do sucesso no enraizamento

A análise do êxito no enraizamento das estacas requer a consideração de diversos critérios que sinalizam o crescimento apropriado das raízes. Os aspectos mais relevantes incluem a proporção de estacas que enraizaram, o comprimento e a quantidade de raízes formadas, a observação de brotações e a taxa de sobrevivência das estacas antes do transplante definitivo.

A proporção de estacas enraizadas é frequentemente adotada como uma medida direta do êxito no enraizamento. Essa métrica é obtida ao dividir o número de estacas que enraizaram pelo total de estacas propagadas e, em seguida, multiplicando o resultado por 100. A extensão e a quantidade de raízes que se desenvolvem em cada estaca também servem como indicadores da qualidade da estrutura radicular criada (Blythe et al., 2007; Carréra et al., 2023).

Outros parâmetros a serem considerados incluem a proporção de estacas mortas, a percentagem de estacas em estado dormente, a proporção de estacas com brotações, a quantidade total de estacas enraizadas, a média de comprimento das raízes, a percentagem de estacas com calo, o número de brotações ativas e a quantidade de brotações dormentes. Os dados coletados devem ser analisados por meio de análise de variância, e quando houver significância, uma análise de regressão polinomial será realizada, conforme indicado por Husin et al. (2022). É crucial avaliar esses critérios de maneira integrada para obter uma análise completa do sucesso no enraizamento das estacas.

2.7.2. Técnicas para a colheita e análise de dados

A colheita de informação durante o enraizamento das estacas requer a observação contínua dessas estacas ao longo do tempo, anotando as alterações nas características das raízes e gemas, conforme indicado por Blythe et al. (2007). É possível retirar as estacas do

substrato com cuidado para realizar a avaliação, garantindo que o desenvolvimento das raízes não seja comprometido.

Para uma investigação mais minuciosa, as raízes podem ser limpas e analisadas em condições controladas, utilizando lupas ou microscópios que proporcionem uma visualização detalhada da morfologia e do estado vital das raízes.

Adicionalmente, fragmentos do tecido radicular podem ser coletados para estudos bioquímicos ou histológicos, o que possibilita uma compreensão mais abrangente dos processos fisiológicos que ocorrem durante o enraizamento, como apontado por Relvas (2023).

As informações reunidas ao longo da pesquisa podem ser organizadas em tabelas e submetidas a análises estatísticas, visando descobrir padrões e inter-relações entre as diversas variáveis examinadas. Ferramentas estatísticas como análise de variância (ANOVA) e regressão podem ser utilizadas para avaliar a relevância das diferenças observadas e para identificar os elementos que impactam o êxito do enraizamento.

2.7.3. Critérios para avaliação de estacas enraizadas

A análise das estacas enraizadas requer a consideração de vários fatores que revelam a qualidade e a viabilidade do sistema radicular desenvolvido. Além de aspectos quantitativos, como a contagem dos brotos, raízes, diâmetro do caule e o comprimento, deve levar-se em conta características qualitativas, incluindo a coloração, a vitalidade e a uniformidade das raízes (Pereira et al., 2001). Adicionalmente, a presença de calosidades ou brotações nas estacas pode oferecer informações complementares sobre o progresso das gemas e a capacidade das plantas de rebrote (Bressani et al., 2018). A saúde e a integridade das raízes são fundamentais para assegurar que a muda tenha sucesso após o plantio. Na avaliação das estacas enraizadas, é crucial registrar meticulosamente todos os parâmetros analisados, assegurando uma apreciação precisa e consistente dos resultados obtidos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área em estudo

O estudo foi realizado em Angola, província e município do Uíge, na Estação Experimental do Uíge (INCA), encontra-se numa região de clima tropical quente e húmido, com duas estações, seca e chuvosa, a última vai de setembro a maio e considera-se a estação mais longa do ano, com precipitações que variam de 900 mm a 1500 mm. A altitude média acima do nível do mar é de 838 metros (Silva et al., 2020). A província do Uíge estende-se entre os paralelos 5° 50' e 8° 20' de latitude Sul e os meridianos 14° 50' e 17° 10' de longitude Este. Tem uma superfície de 58.698 km² e uma população estimada de 1.908.347 habitantes, residentes em 16 municípios. A sua capital é Uíge (Thorntwaite 1957; Mawunu et al., 2020).

A vegetação é caracterizada por florestas perenes e semidecíduas, para além de um mosaico de floresta-savana e mata de galeria. A hidrografia do Uíge é uma das mais ricas de Angola, constituída por rios, ribeiras, lagoas e zonas pantanosas (Mawunu et al., 2018). Na análise da distribuição das chuvas nesta região, observam-se dois picos em novembro e abril, intercalados por um breve intervalo sem precipitações que ocorre em janeiro ou fevereiro (Huntley et al., 2019).

Os volumes de chuva tendem a aumentar progressivamente do Oeste para o leste, ao passo que a temperatura média anual, na faixa mais baixa, gira em torno de 25 °C, diminuindo para 22 °C em áreas mais internas, que apresentam uma altitude consideravelmente elevada (Correia et al., 2024). As variações de temperatura, tanto mensais quanto diárias, são reduzidas durante a estação das chuvas e alcançam seu auge na estação seca. Os meses mais frios identificados são julho e agosto, que apresentam temperaturas mínimas médias de 13 °C e 14 °C. A humidade relativa média anual, às 9 horas da manhã, ultrapassa 80% (Ngolo et al. 2018). A nível da província a agricultura, a pecuária e a pesca artesanal destacam-se como as atividades de maior relevância económica na região, sendo a produção do café das atividades mais importantes.

Durante o experimento a temperatura foi avaliada em intervalos de 7 dias por meio de dois termômetros. A Figura 9 mostra as temperaturas máximas e mínimas, medidas dentro dos enraizadores durante o período de aclimação das estacas que foi de três meses.

3.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado no dia 10 de junho de 2024. Foram usadas estacas da variedade Ambriz. O delineamento experimental encontra-se esquematizado na Figura 1.

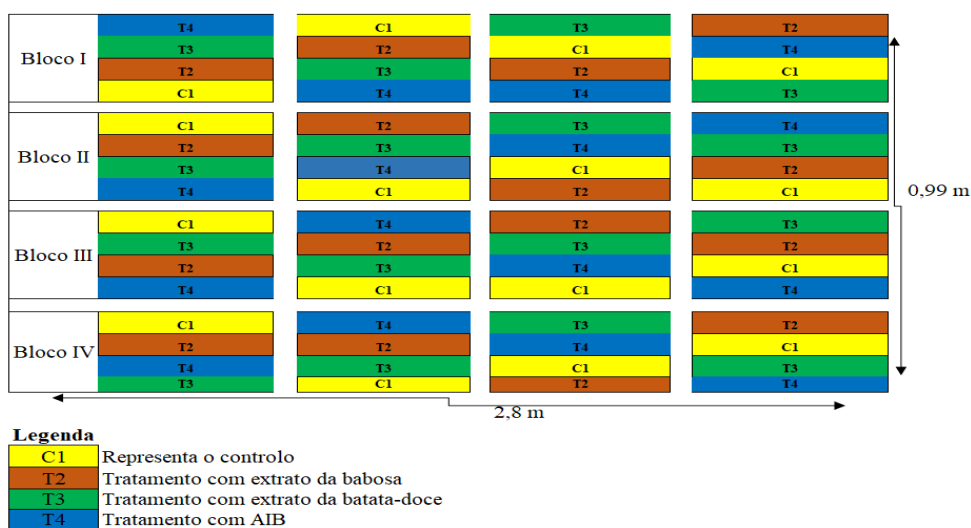


Figura 1: Delineamento experimental.

O delineamento experimental foi estruturado para avaliar o efeito dos diferentes tratamentos hormonais e bioestimulantes naturais no enraizamento de estacas de cafeeiro.

O experimento foi conduzido com um esquema inteiramente casualizado, utilizando quatro tratamentos: solução líquida de AIB (T4); tratamento com extrato da batata-doce (T3); tratamento com extrato da babosa (T2); e testemunha (C1).

O esquema experimental foi composto por 16 parcelas, com 5 estacas por linha de cada tratamento, totalizando 80 estacas por tratamento e 320 estacas no geral. O experimento teve a duração de 90 dias. O experimento, com 2,8 metros de comprimento e 0,99 metros de largura, resultou em uma área total útil de 2,16 m². A área experimental foi preparada para garantir condições homogêneas de plantio e crescimento das estacas. As estacas foram plantadas em substrato de areia e serradura decomposta, misturada em diferentes proporções conforme o delineamento experimental (Figura 2). Para a pesquisa foram escolhidas plantas de café da variedade local Ambriz, com uma idade de 10 anos, cultivadas em um pomar que ocupa 1 ha. Foram selecionadas 64 plantas-mãe para o corte das estacas.

Com o intuito de identificar as características físicas e químicas ideais, como a boa retenção de água, alta porosidade e a ausência de patógenos, com base os resultados obtidos por Pinheiro (2024). Utilizou-se uma mistura de terra e serradura de madeira decomposta.

Antes da instalação do experimento, foram colhidas amostras de solo numa camada de 0-0,02 m e serradura decomposta para determinar os seus atributos químicos. As amostras foram recolhidas no dia 8 de junho de 2024, enviadas para análise no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do solo e da serradura decomposta (média±desvio padrão) usada no ensaio.

| Solo | | Substrato/Serradura | |
|--|-----------|--|----------------|
| pH _(H2O) | 8,7±0,15 | pH _(H2O) | 7,8±0,08 |
| pH _(KCl) | 7,7±0,08 | Condutividade (μS) | 134,3±3,54 |
| Condutividade (μS) | 50,0±0,71 | Carbono orgânico (g kg ⁻¹) | 330,4±7,8 |
| Carbono orgânico (g kg ⁻¹) | 1,0±0,08 | Azoto (g kg ⁻¹) | 4,5±0,25 |
| Fósforo extraível (mg kg ⁻¹ , P ₂ O ₅) | 20,0±1,41 | Fósforo (g kg ⁻¹) | 0,4±0,01 |
| Potássio extraível (mg kg ⁻¹ , K ₂ O) | 21,1±1,42 | Potássio (g kg ⁻¹) | 0,8±0,01 |
| Cálcio de troca (cmol _c kg ⁻¹) | 3,8±0,16 | Cálcio (g kg ⁻¹) | 5,6±0,07 |
| Magnésio de troca (cmol _c kg ⁻¹) | 0,6±0,06 | Magnésio (g kg ⁻¹) | 0,8±0,00 |
| Potássio de troca (cmol _c kg ⁻¹) | 0,1±0,01 | Boro (mg kg ⁻¹) | 11,5±0,42 |
| Sódio de troca (cmol _c kg ⁻¹) | 0,1±0,01 | Ferro (mg kg ⁻¹) | 8548,7±1907,07 |
| Acidez de troca (cmol _c kg ⁻¹) | 0,3±0,07 | Manganês (mg kg ⁻¹) | 72,4±4,76 |
| CTC (cmol _c kg ⁻¹) | 5,0±0,13 | Zinco (mg kg ⁻¹) | 525,7±75,65 |
| Boro extraível (mg kg ⁻¹) | 0,8±0,19 | Cobre (mg kg ⁻¹) | 14,7±3,77 |

3.2.3 Atividades desenvolvidas na materialização do experimento

Para a concretização do presente estudo, foram obedecidos os critérios que se descrevem nas próximas secções.

3.2.2.1. Procedimento de preparação dos substratos, estimulantes, colheita das estacas e plantio

Estudos indicam que a multiplicação clonal de estacas de café é afetada pela variedade e pela posição dos ramos ao longo da planta-mãe (Benin et al., 2013; Magesa et al., 2020). Portanto, foram levadas em consideração as condições fisiológicas e produtivas da planta matriz. Numa área de 1 hectare, com espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas

dentro da linha, num universo de 4.000 plantas por hectare, foram selecionadas 64 plantas, com corte bisel das estacas feito nas primeiras horas do dia.

Foram utilizados preferencialmente ramos do último ciclo vegetativo, conforme recomendado por Viçosa et al. (2023). Com o uso de uma tesoura desinfetada de marca HDL, foram retiradas em cada planta cinco estacas com 10 cm de comprimento e, aproximadamente, 8 mm de diâmetro, logo abaixo de um nó, deixando duas folhas cortadas num terço (Gebreselassie et al., 2024).

A Figura 2, mostra estes procedimentos.



Figura 2: (A) Identificação das plantas matriz (B e C) colheita das estacas.

3.2.2.2. Preparação de substratos

Após a recolha dos substratos areia e serradura curtida, em seguida fez-se a mistura em proporções para garantir as características físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento das raízes das estacas (Figura 3).



Figura 3: (A) Seleção de substrato, (B) crivagem de areia, (C) pesagem do substrato, e (D) mistura do substrato e enchimento das bolsas.

As sacolas utilizadas foram de polietileno de cor preta, com tamanho de 11 cm de largura, 20 cm de comprimento e 0,006 cm de espessura, contendo perfurações em sua metade inferior para que o excesso de água possa ser drenado.

Assim, o processo decorreu nos seguintes passos:

Passo 1 - Selecção da serradura curtida de origem de madeira;

Passo 2 - Recolha da areia;

Passo 3 - Recolha da serradura curtida;

Passo 4 - Limpeza da areia apartir de um crivo de 25 mm de diametro;

Passo 5 - Pessagem dos substratos (20 kg de areia e 40 kg de serradura) misturada;

Passo 6 - Enchimento de 320 sacolas de politileno com volume 0,5 kg de substrato/cada.

Desta forma foram garantidas características físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento das raízes das estacas. O plantio foi realizado manualmente, com distribuição dos caules nos propagadores. Os caules foram monitorados regularmente, com irrigação manual conforme a necessidade.

Os tecidos vegetais coletados foram logo postos numa bacia com a dimensão de 20 L, com água do rio para evitar stresse após o corte das estacas, como pode se ver na Figura 4.



Figura 4: (A) Bacia com a água do rio; (B) corte do caule; e (C) caule mergulhado na banheira com água.

3.2.2.3. Preparação da hormona comercial de ácido indolbutirico

Para esta investigação, a preparação da dosagem do AIB obedeceu o critério descrito abaixo e exemplificado na Figura 5.

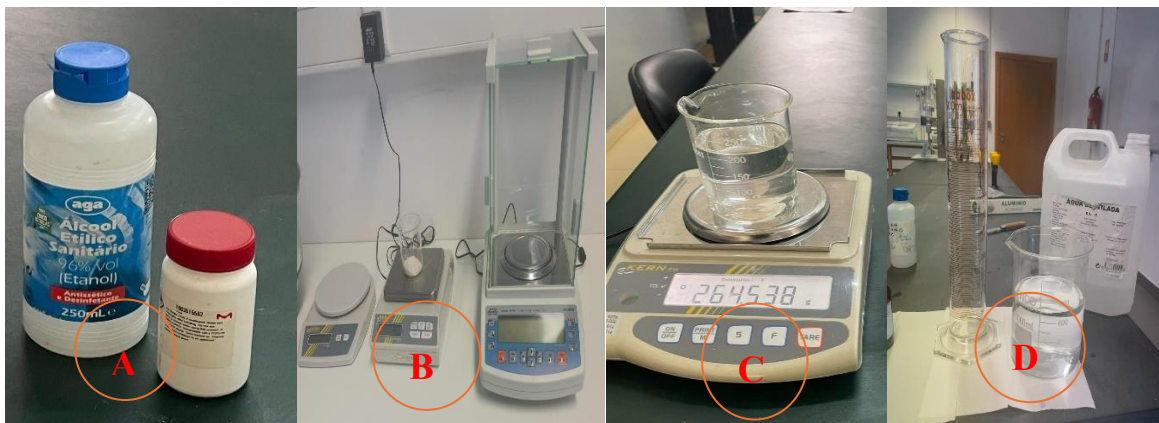


Figura 5: (A) Álcool sanitário e hormona comercial; (B) pesagem da hormona comercial na balança de precisão; (C) pesagem percentual do álcool sanitário; e (D) medição da quantidade de água do rio a usar na solução.

O processo foi organizado nos seguintes passos:

Passo 1 - Preparação dos materiais usados no laboratório para as soluções de AIB;

Passo 2 - Mistura das soluções AIB, álcool sanitário, água do rio;

Passo 3 - Foram usados $00,3 \text{ mg L}^{-1}$ de fito hormonio pesado na balança de precisão;

Passo 4 - Usaram-se 700 mL L^{-1} de água do rio;

Passo 5 - Foram necessários 300 mL L^{-1} de álcool.

Feita a mistura agitar a solução com ajuda de um liquidificador permitindo assim a melhor uniformidade. A aplicação de AIB foi feita com o uso de um recipiente de plástico com a dimensão de 1000 mL L^{-1} , via solução hidroalcolica mediante imersão rápida das estacas num período de (5) segundos, conforme descrito por Barbosa et al. (2023).

3.2.2.4. Preparação da babosa como enraizador

A preparação da babosa com hormona de enraizamento foi feita como mostra a Figura 7.



Figura 6: (A) Planta de babosa; (B) folhas da babosa; (C) corte em pedaços da babosa e trituração da babosa no liquidificador; e (D) solução obtida após a trituração da babosa.

Os passos do processo foram os seguintes:

Passo 1 - foi selecionada uma planta sadia com bom vigor vegetativo;

Passo 2 - Corte da folha de babosa, sendo em seguida cortada em fatias e retirada a parte superior e inferior da folha;

Passo 3 - Extração do gel de babosa, retirada a parte superior e inferior da folha manter o gel intacto, posta em um liquidificador até obter um gel homogéneo;

Passo 4 - Após a mistura foi necessário colocar o gel num recipiente com o diâmetro de 400 mL L⁻¹. Foram mergulhadas as estacas de cafeeiro a propagar com a distância de 5 cm da parte da estaca mergulhada na solução e com uma boa camada de gel cobriu-se a estaca durante 10 minutos. Éstimular o caule a enraizar inibindo o desenvolvimento de fungos e bactérias que podem infectar a estaca.

3.2.2.5. Preparação do enraizador de batata-doce

A preparação de batata-doce como hormona de enraizamento foi feita como mostra a Figura 7.

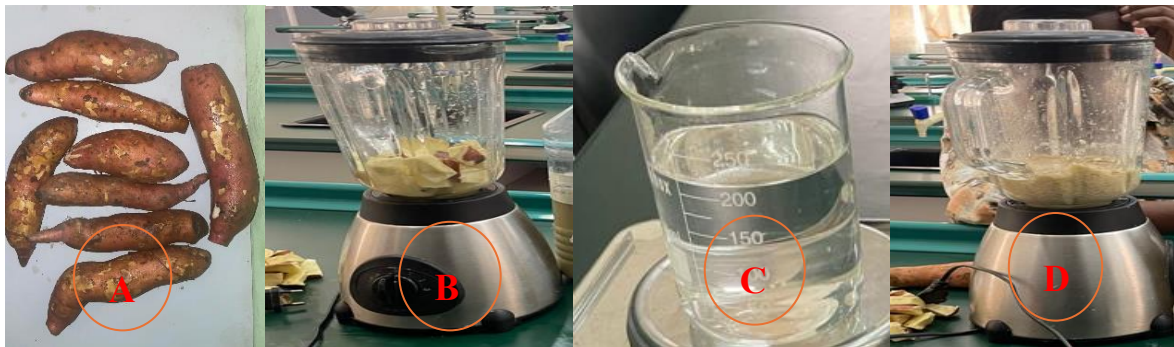


Figura 7: (A) Seleção da batata-doce; (B) corte da batata-doce em cubos; (C) adição de 100 ml de água do rio; e (D) trituração da batata-doce no liquidificador.

O processo decorreu segundo o seguintes passos:

Passo 1 - Foi feita a triagem manual e visual, apartir do processo de manuseamento;

Passo 2 - Lavagem e desinfecção das batatas selecionadas e em seguida lavadas com água do rio para eliminar as impurezas pós-colheita;

Passo 3 -Secagem, feita à temperatura do ambiente;

Passo 4 - Cortar a batata-doce não cascada em cubos de mais ou menos 2 a 5 cm;

Passo 5 - Foi moída a batata-doce cortada em cubos num liquidificador com água do rio, uma vez que a água da torneira pode originar a contaminação das estacas com elementos químicos usados no processo do tratamento da água;

3.3. Monitorização e colheita de dados

Os tratamentos foram aplicados nas proporções de 100 mL L⁻¹ de AIB, via solução hidroalcolica, sendo as estacas submetidas a imersão rápida na solução por um período de 5 segundos. O extrato da babosa aplicou-se numa concentração de 400 mL L⁻¹ e extrato de batata-doce na proporção de 300 mL L⁻¹.

O plantio foi realizado manualmente, com distribuição das estacas no propagador feito de betão fechado com plástico, permitindo o controle da temperatura (Figura 8).

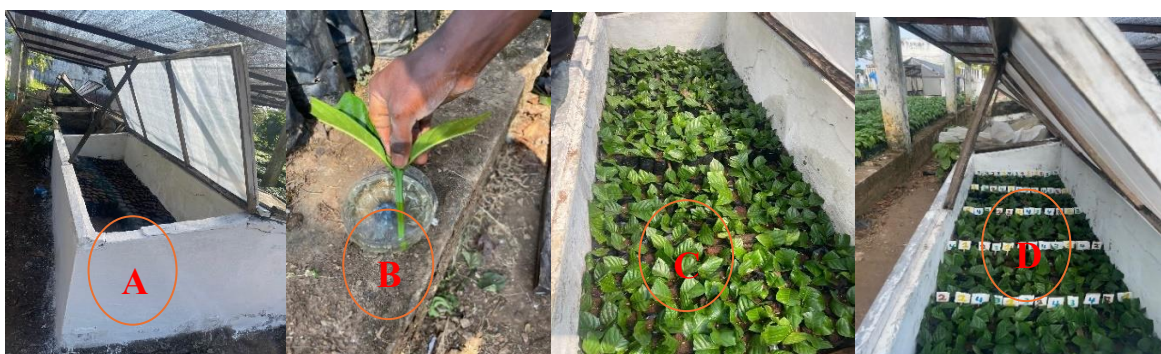


Figura 8: (A) Bolsas com substrato no propagador; (B) introdução da estaca na solução preparada; (C) colocação das placas de identificação nos sacos polietileno; e (D) arrumação das amostras no propagador.

O processo foi realizado cuidadosamente, seguindo um cronograma bem definido para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados coletados na Estação Experimental do Uíge.

Ao longo do experimento, as estacas foram mantidas com irrigação manual com o uso de um pulverizador, conforme as necessidades das estacas. A coleta de dados foi realizada em intervalos regulares, de 30 em 30 dias num período de 90 dias, permitindo uma análise detalhada do progresso das estacas sob diferentes tratamentos.

Os parâmetros por avaliar incluíram a temperatura, percentagem de estacas mortas, dormentes, percentagem das estacas com brotações, percentagem de estacas enraizadas, percentagem do número de raízes, comprimento médio das raízes, número de brotações ativas, número de brotações dormentes, comprimento do caule, diâmetro do caule. conforme estudo realizado por Azevedo et al. (2020).

Para a colheita das amostras das estacas por avaliar, foram selecionadas 16 estacas, de forma aleatória num universo de 80 estacas representadas por cada tratamento. As observações foram feitas através de contagem e medição com um paquímetro eletrônico em milímetros.

3.4. Análise Estatística

Para avaliar a eficácia dos diferentes tratamentos no enraizamento das estacas de cafeeiro foi realizada uma análise estatística abrangente dos dados coletados. Os resultados obtidos foram registados numa folha em Excel e submetidos à análise de variância (ANOVA), com o objetivo de identificar diferenças significativas entre os tratamentos aplicados.

Quando a ANOVA indicou significância, foi usado o teste de Tukey com um nível de significância de 5%. Os dados foram apresentados como médias \pm erro padrão, aos quais foi associado o resultado da análise de variância e teste de Tukey.

Essa abordagem estatística permitiu uma interpretação detalhada dos efeitos dos bioestimulantes naturais e da hormona comercial no enraizamento das estacas, fornecendo uma base sólida para a interpretação dos resultados.

4. RESULTADOS

A temperatura mínima variou de 16 a 30 °C, a máxima, de 26 a 32 °C; e a média 28 a 29 °C. Essas faixas de temperatura, juntamente com as irrigações aplicadas, causaram uma humidade relativa a variar entre 80 e 98%.

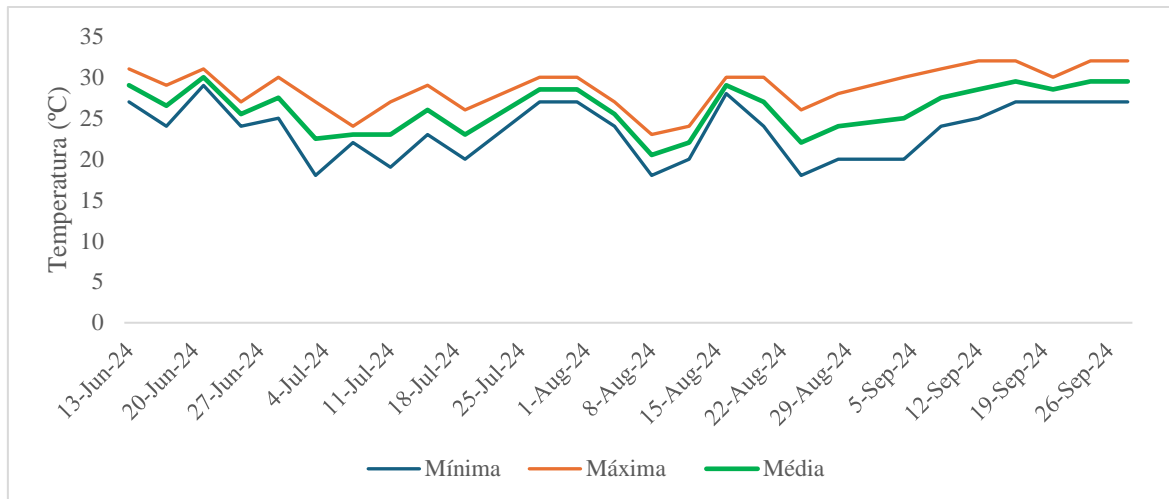


Figura 9: Dados climáticos de temperatura máxima, mínima e média registados durante a condução do experimento.

4.1. Estacas mortas

Para a percentagem de estacas mortas foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tratamentos nas três datas de avaliação (30, 60 e 90 dias) (Figura 10). A testemunha registou os valores mais elevados e significativamente diferentes dos demais tratamentos. Apenas na primeira data de avaliação os valores da testemunha não diferiram significativamente dos valores do tratamento batata-doce.

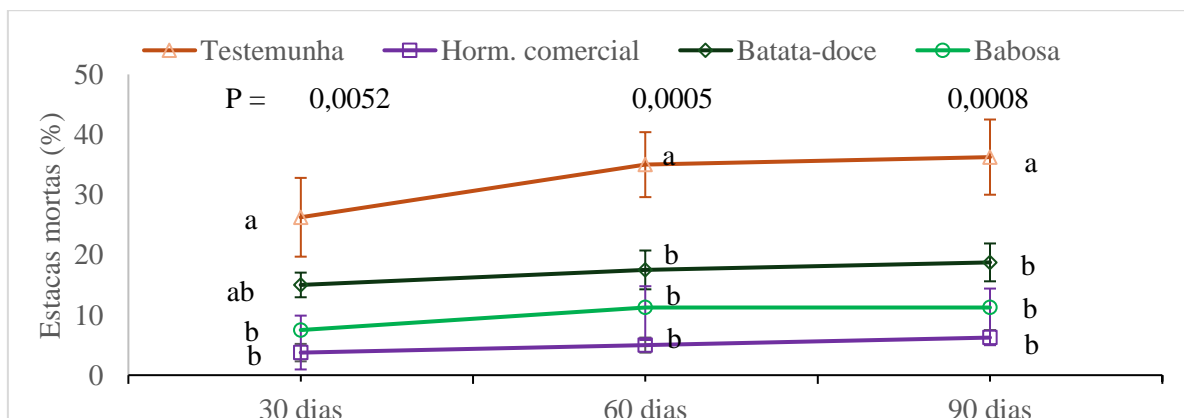


Figura 10: Percentagem de estacas de cafezeiro mortas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

A testemunha apresentou os maiores valores de estacas mortas ao longo de todo o período experimental. Aos 30 dias, a percentagem de estacas mortas foi de 26,3%, aumentando progressivamente para 35,0% aos 60 dias e atingindo 36,3% aos 90 dias. Estes valores demonstram que, sem qualquer tratamento, a mortalidade das estacas é elevada, sugerindo a necessidade de intervenções para melhorar o enraizamento e sobrevivência.

O tratamento com AIB, apresentou as menores taxas de mortalidade entre os tratamentos, contudo sem diferenças significativas para os extratos naturais. Aos 30 dias, o valor foi de apenas 3,8%, subindo ligeiramente para 5,0% aos 60 dias e atingindo 6,3% aos 90 dias. Estes resultados indicam a eficiência do AIB na promoção da sobrevivência das estacas, reduzindo a taxa de mortalidade significativamente quando comparado à testemunha.

O tratamento com extrato da batata-doce também mostrou uma redução significativa na mortalidade das estacas quando comparada à testemunha, com valores de 15,0%, 17,5% e 18,8% aos 30, 60 e 90 dias, respetivamente. Embora tenha sido menos eficaz do que a hormona comercial, este tratamento apresenta-se como uma alternativa viável, especialmente considerando que se trata de um bioestimulante natural.

O tratamento com o extrato da babosa apresentou uma mortalidade inicial relativamente baixa de 7,5% aos 30 dias, que aumentou para 11,3% aos 60 e 90 dias. Estes resultados indicam que a babosa também pode ter um efeito positivo na sobrevivência das estacas, embora a sua eficácia pareça ser inferior à da hormona comercial, mas significativamente superior à testemunha.

4.2. Estacas vivas e não brotadas

Os dados referentes às estacas vivas e não brotadas ao longo dos 30, 60 e 90 dias, mostram que, embora existam variações entre os tratamentos, não há diferenças estatisticamente significativas entre eles, conforme indicado pelos valores de probabilidade (0,5632, 0,7169 e 0,9410) (Figura 11). Isso sugere que os tratamentos não influenciaram de forma substancial a percentagem de estacas que permaneceram vivas, mas sem brotação.

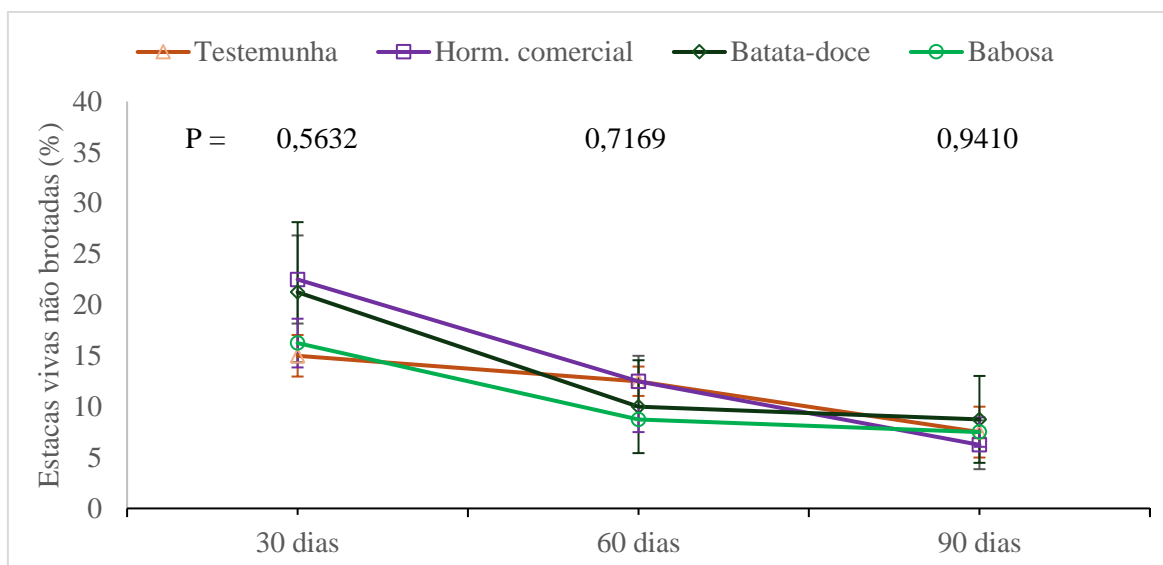


Figura 11: Taxa de estacas vivas e não brotadas de cafezeiro aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

A testemunha apresentou uma diminuição gradual no número de estacas vivas e não brotadas ao longo do tempo. Aos 30 dias, 15,0% das estacas estavam vivas, mas sem brotações, número que caiu para 12,5% aos 60 dias e para 7,5% aos 90 dias. Isso indica que, embora algumas estacas tenham sobrevivido, não houve estímulo para o desenvolvimento de brotações ao longo do tempo.

O tratamento com AIB, mostrou uma percentagem inicial maior de estacas vivas e não brotadas (22,5% aos 30 dias), mas essa percentagem diminuiu drasticamente para 12,5% aos 60 dias e 6,3% aos 90 dias. Apesar de AIB ser eficaz para promover o enraizamento e a sobrevivência, parece que sua eficácia em relação à brotação foi limitada.

O tratamento com extrato da batata-doce apresentou um comportamento semelhante ao do tratamento com AIB, com 21,3% de estacas vivas e não brotadas aos 30 dias, uma queda para 10,0% aos 60 dias e uma leve recuperação para 8,8% aos 90 dias. Isso sugere que, embora o extrato da batata-doce tenha promovido a sobrevivência das estacas, a sua capacidade de induzir brotações foi moderada.

Entretanto, tratamento com extrato da babosa resultou em percentagens ligeiramente menores de estacas vivas e não brotadas em comparação com os outros tratamentos: 16,3% aos 30 dias; 8,8% aos 60 dias; e 7,5% aos 90 dias. Esses resultados indicam que, tal como a batata-doce, a babosa pode ter algum efeito na sobrevivência das estacas, mas sem uma grande capacidade de induzir brotações.

4.3. Estacas com brotações

A percentagem de estacas com brotações indica que houve diferenças significativas entre tratamentos designadamente a partir dos 60 dias (Figura 12). O valor de probabilidade aos 60 e 90 dias foram 0,0003 e 0,0002, respetivamente, confirmando que os tratamentos testados impactaram significativamente a capacidade das estacas de desenvolver brotações. Nas fases iniciais do enraizamento, não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos ($p = 0,1837$).

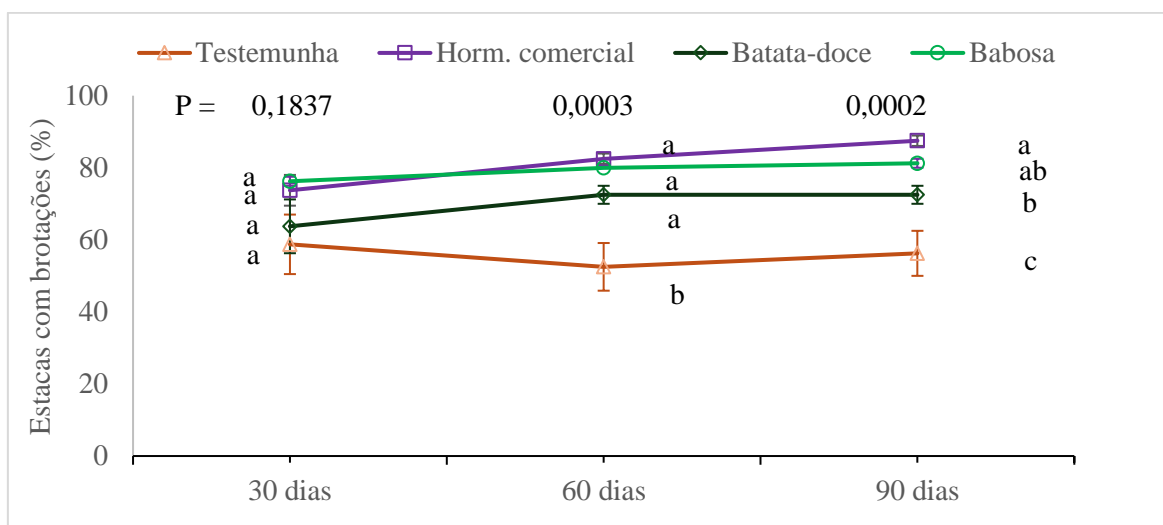


Figura 12: Taxa de estacas de cafezeiro com brotações aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

A percentagem de estacas com brotações na testemunha apresentou uma variação relativamente estável ao longo do tempo. Aos 30 dias, 58,8% das estacas tinham brotações, reduzindo-se ligeiramente para 52,5% aos 60 dias e voltando a subir para 56,3% aos 90 dias. Estes valores indicam uma capacidade moderada de brotação sem a aplicação de AIB ou bioestimulantes.

O tratamento com AIB apresentou os melhores resultados ao longo do tempo. Aos 30 dias, 73,8% das estacas tratadas com as hormonas comerciais apresentaram brotações, e essa percentagem aumentou para 82,5% aos 60 dias e 87,5% aos 90 dias. Estes resultados mostram que o uso da hormona AIB foi eficaz para estimular o desenvolvimento de brotações.

As estacas tratadas com extrato de batata-doce mostraram uma tendência positiva ao longo dos primeiros 60 dias, com 63,8% de brotações aos 30 dias e 72,5% aos 60 dias, mas a percentagem manteve-se estável até os 90 dias, com os mesmos 72,5%. Apesar de a batata-

doce ter promovido um número razoável de brotações, os resultados sugerem que, a longo prazo, o efeito estabilizou.

O tratamento com o extrato da babosa apresentou uma das maiores percentagens de brotações, com 76,3% aos 30 dias e 80,0% aos 60 dias. Aos 90 dias, 81,3% das estacas tinham brotações, demonstrando que este bioestimulante natural teve um efeito semelhante ao da hormona comercial, especialmente aos 90 dias.

4.4. Estacas com brotações ativas

A percentagem de estacas com brotações ativas ao longo dos 30, 60 e 90 dias destacam a variação de eficácia dos diferentes tratamentos no desenvolvimento de brotações ativas, com diferenças estatísticas observadas principalmente aos 30 e 90 dias (Figura 13). Aos 60 dias todos os tratamentos apresentaram respostas semelhantes em termos de brotações ativas.

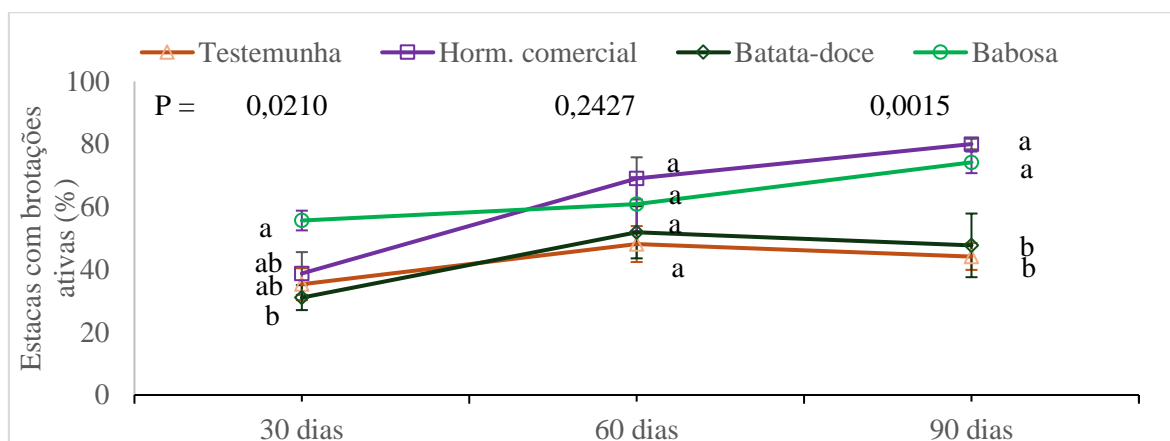


Figura 13: Percentagem de estacas de café com brotações ativas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostra.

As estacas da testemunha apresentaram uma percentagem moderada de brotações ativas, começando com 35,3% aos 30 dias, subindo para 48,1% aos 60 dias e caindo para 44,2% aos 90 dias. Embora tenha havido um aumento temporário aos 60 dias, o tratamento sem aditivos manteve uma resposta inferior aos tratamentos com AIB ou bioestimulantes.

O tratamento com AIB, teve um impacto notável no estímulo de brotações ativas, começando com 38,8% aos 30 dias e aumentando significativamente para 69,1% aos 60 dias, chegando a 80,0% aos 90 dias. Esses resultados indicam que o AIB promoveu de forma consistente o vigor e a atividade das brotações ao longo do tempo.

As estacas tratadas com extrato da batata-doce apresentaram uma resposta moderada, começando com 31,0% de brotações ativas aos 30 dias e aumentando para 51,9% aos 60 dias. No entanto, aos 90 dias, a percentagem de brotações ativas diminuiu ligeiramente para 47,7%, sugerindo que o efeito positivo da batata-doce estabilizou com o tempo.

O extrato da babosa se destacou como um dos tratamentos mais eficazes, especialmente nas fases iniciais. Aos 30 dias, 55,6% das estacas apresentaram brotações ativas, sendo o tratamento com melhor resposta inicial. Aos 60 dias, 60,8% das estacas ainda mantinham brotações ativas, e o valor aumentou significativamente para 74,2% aos 90 dias, mostrando um efeito contínuo e positivo da babosa.

4.5. Estacas com brotações dormentes

As percentagens de estacas com brotações dormentes ao longo dos períodos de 30, 60 e 90 dias revelam diferenças significativas nos efeitos dos tratamentos aplicados, especialmente entre a testemunha e os demais grupos (Figura 14).

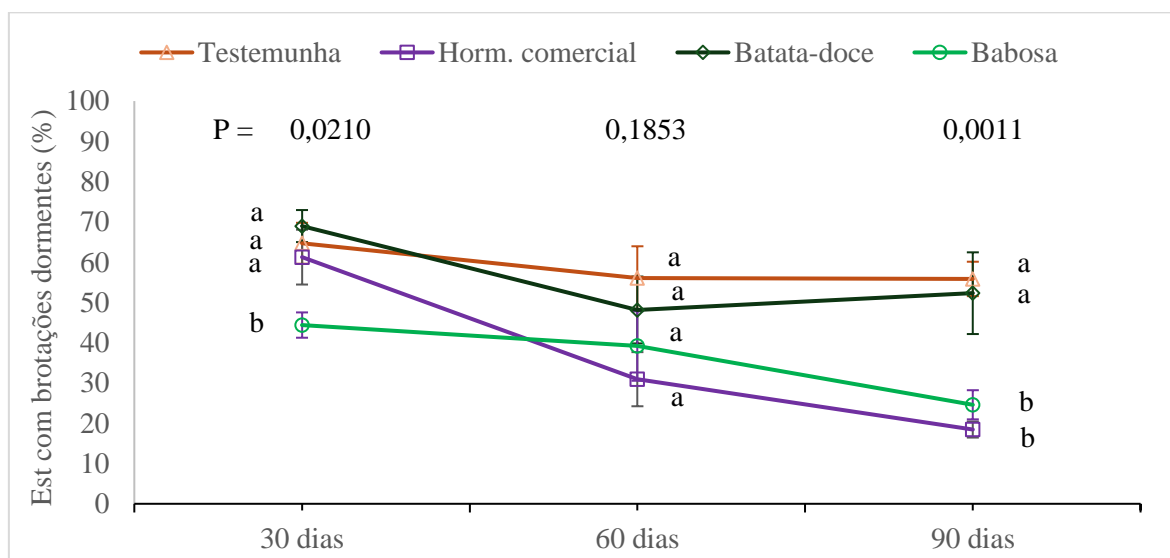


Figura 14: Percentual de estacas com brotos dormentes aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha mantiveram a maior percentagem de brotações dormentes, começando com 64,7% aos 30 dias, diminuindo ligeiramente para 56,0% aos 60 dias e alcançando 55,8% aos 90 dias. A manutenção dessas percentagens elevadas sugere que a

ausência de estímulos químicos não impediu que uma quantidade significativa de estacas permanecesse dormente.

As estacas tratadas com AIB, mostraram uma diminuição drástica na percentagem de brotações dormentes, começando com 61,3% aos 30 dias e caindo para 30,9% aos 60 dias, com uma redução ainda mais acentuada para 18,4% aos 90 dias.

Esses resultados indicam que a hormona teve um efeito significativo no despertar das brotações, promovendo um aumento na percentagem de brotações ativas, mas resultando na diminuição das brotações dormentes.

As estacas tratadas com extrato de batata-doce apresentaram uma percentagem de brotações dormentes que começou em 69,0% aos 30 dias, mas caiu para 48,1% aos 60 dias e estabilizou em 52,3% aos 90 dias. O tratamento com extrato da batata-doce inicialmente promoveu uma boa quantidade de estacas dormentes, mas a queda acentuada aos 60 dias sugere que os bioestimulantes podem ter contribuído para a ativação das brotações.

Assim, as estacas tratadas com extrato da babosa tiveram a menor percentagem de brotações dormentes, começando com 44,4% aos 30 dias, diminuindo para 39,2% aos 60 dias e caindo para 24,6% aos 90 dias. Esses resultados indicam que a babosa, embora inicialmente promissora, pode ter reduzido a quantidade de estacas dormentes de maneira significativa, possivelmente impulsionando as brotações ativas.

4.6. Estacas enraizadas

Os resultados obtidos para a percentagem de estacas enraizadas ao longo dos períodos de 30, 60 e 90 dias demonstram diferenças significativas entre os tratamentos aplicados, especialmente no último período de avaliação (Figura 15).

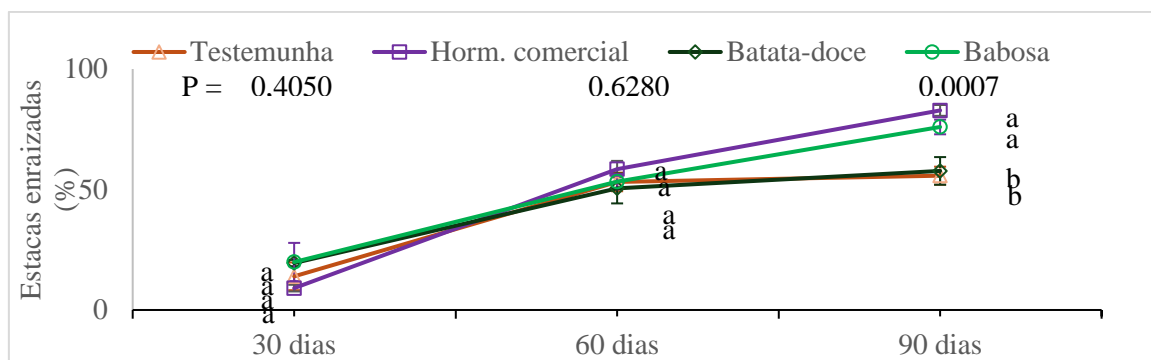


Figura 15: Taxa de enraizamento de estacas de café aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha apresentaram uma percentagem de enraizamento de 14,0% aos 30 dias, que aumentou significativamente para 53,1% aos 60 dias e alcançou 55,7% aos 90 dias. Isso indica que, embora o enraizamento tenha ocorrido, a taxa de sucesso foi relativamente baixa, sugerindo que a ausência de bioestimulantes ou AIB, limitou o desenvolvimento inicial das raízes.

As estacas tratadas com AIB, mostraram um padrão de enraizamento crescente, começando com 9,1% aos 30 dias e aumentando para 58,4% aos 60 dias. O resultado mais significativo foi observado aos 90 dias, onde a percentagem de estacas enraizadas atingiu 82,8%. Esses resultados indicam que a hormona teve um impacto positivo no enraizamento, promovendo um aumento acentuado nas taxas de sucesso, especialmente em comparação com a testemunha. As estacas tratadas com extrato da batata-doce apresentaram uma percentagem de enraizamento de 19,5% aos 30 dias, que diminuiu ligeiramente para 50,4% aos 60 dias e subiu novamente para 57,7% aos 90 dias.

Embora o tratamento tenha mostrado um desempenho razoável, não superou os resultados da hormona comercial no último período, sugerindo que, apesar de ser um bioestimulante útil, a batata-doce pode não ter o mesmo efeito explosivo no enraizamento que AIB. As estacas tratadas com babosa apresentaram uma taxa de enraizamento de 19,9% aos 30 dias, seguida de 53,2% aos 60 dias e 75,9% aos 90 dias. Embora o desempenho inicial tenha sido semelhante ao da batata-doce, a babosa teve um aumento significativo no enraizamento, mas ainda assim não atingiu os níveis da hormona comercial.

4.7. Estacas não enraizadas

A percentagem de estacas não enraizadas foi analisada ao longo dos períodos de 30, 60 e 90 dias, com os resultados apresentando variações significativas entre os diferentes tratamentos aplicados, especialmente no último período de avaliação (Figura 16).

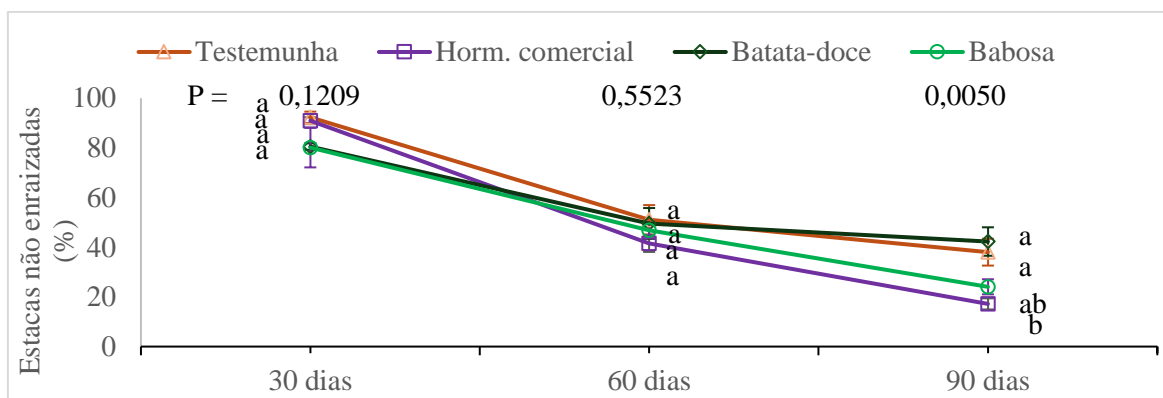


Figura 16: Percentagem de estacas de café não enraizadas aos 30, 60 e 90 dias, submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha começaram com uma taxa de não enraizamento de 92,3% aos 30 dias, refletindo uma baixa taxa de sucesso de enraizamento. Essa taxa caiu para 51,0% aos 60 dias e continuou a diminuir, atingindo 38,0% aos 90 dias. Embora a percentagem de estacas não enraizadas tenha diminuído ao longo do tempo, a taxa inicial bastante elevada indica que a maioria das estacas não conseguiu se enraizar sem o uso de bioestimulantes ou hormona. As estacas tratadas com AIB, apresentaram uma taxa de não enraizamento de 90,9% aos 30 dias, o que também sugere um início fraco no enraizamento. Entretanto, essa taxa caiu drasticamente para 41,6% aos 60 dias e, de forma notável, para apenas 17,2% aos 90 dias. Isso indica que a hormona comercial foi eficaz em promover o enraizamento, resultando em uma diminuição acentuada na percentagem de estacas não enraizadas no último período de avaliação.

As estacas tratadas com extrato da batata-doce mostraram uma percentagem de não enraizamento de 80,5% aos 30 dias, que diminuiu para 49,6% aos 60 dias, e aumentou ligeiramente para 42,3% aos 90 dias. Esses resultados indicam que, embora tenha havido alguma melhoria, o uso do extrato da batata-doce não foi tão eficaz quanto a hormona comercial para reduzir a percentagem de estacas não enraizadas.

As estacas tratadas com extrato da babosa apresentaram uma taxa de não enraizamento de 80,1% aos 30 dias, caindo para 46,8% aos 60 dias e atingindo 24,1% aos 90 dias. Apesar de um desempenho semelhante ao da batata-doce, a babosa também mostrou uma redução significativa na percentagem de estacas não enraizadas, especialmente no último período.

4.8. Comprimento mínimo das raízes

O comprimento mínimo das raízes foi avaliado em diferentes períodos (30, 60 e 90 dias) para entender melhor o desempenho das estacas tratadas com diferentes metodologias. Os resultados indicam algumas tendências em relação ao desenvolvimento radicular, mas também mostram a falta de diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 17).

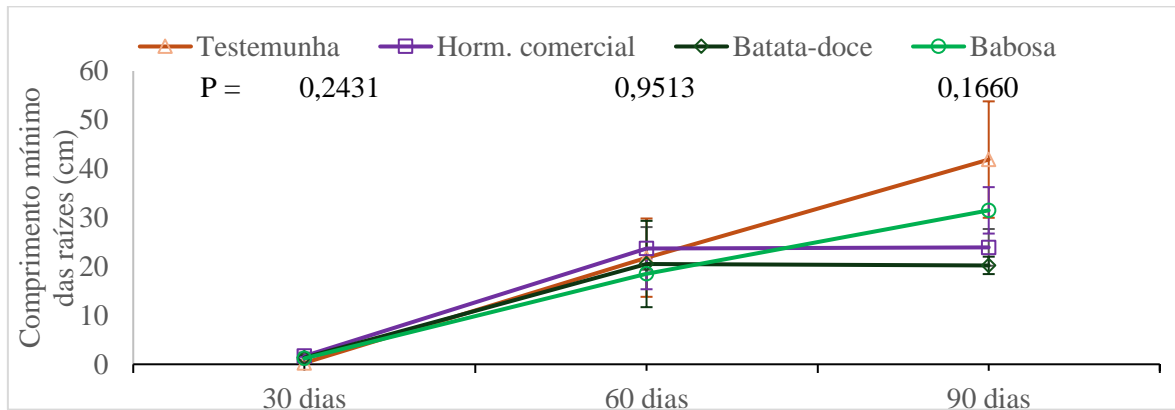


Figura 17: Comprimento mínimo das raízes aos 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha mostraram um comprimento mínimo das raízes de 0,3 cm aos 30 dias, evidenciando um desenvolvimento inicial muito fraco. No período de 60 dias, esse comprimento aumentou para 21,8 cm e, aos 90 dias, alcançou 41,9 cm. Essa progressão sugere um crescimento saudável, embora o comprimento mínimo ainda esteja abaixo de outros tratamentos em comparação.

As estacas tratadas com AIB apresentaram um comprimento mínimo das raízes de 1,7 cm aos 30 dias, o que já é superior ao da testemunha. No entanto, os valores aos 60 e 90 dias foram de 23,7 cm e 23,9 cm, respectivamente, mostrando uma leve diminuição no crescimento entre esses dois períodos. Embora o AIB tenha promovido um aumento inicial, seu efeito parece estabilizar, resultando em um comprimento semelhante ao longo do tempo.

As estacas tratadas com extrato da batata-doce tiveram um comprimento mínimo das raízes de 1,3 cm aos 30 dias, que progrediu para 20,5 cm aos 60 dias e 20,2 cm aos 90 dias. Assim como com o AIB, observa-se uma leve diminuição no comprimento mínimo das raízes do segundo para o terceiro período, mas o crescimento geral foi constante.

As estacas tratadas com extrato da babosa apresentaram um comprimento mínimo das raízes de 1,2 cm aos 30 dias, 18,5 cm aos 60 dias e 31,5 cm aos 90 dias. O resultado do

último período é o mais alto entre os tratamentos, sugerindo que a babosa pode ter um efeito benéfico no crescimento radicular em estágios mais avançados, superando o comprimento mínimo das raízes observado nos outros tratamentos.

4.9. Comprimento máximo das raízes

O comprimento máximo das raízes foi uma variável crítica analisada ao longo dos períodos de 30, 60 e 90 dias, com o objetivo de compreender como diferentes tratamentos afetam o desenvolvimento radicular das estacas. Os dados mostram um padrão de crescimento, embora sem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Figura 18).

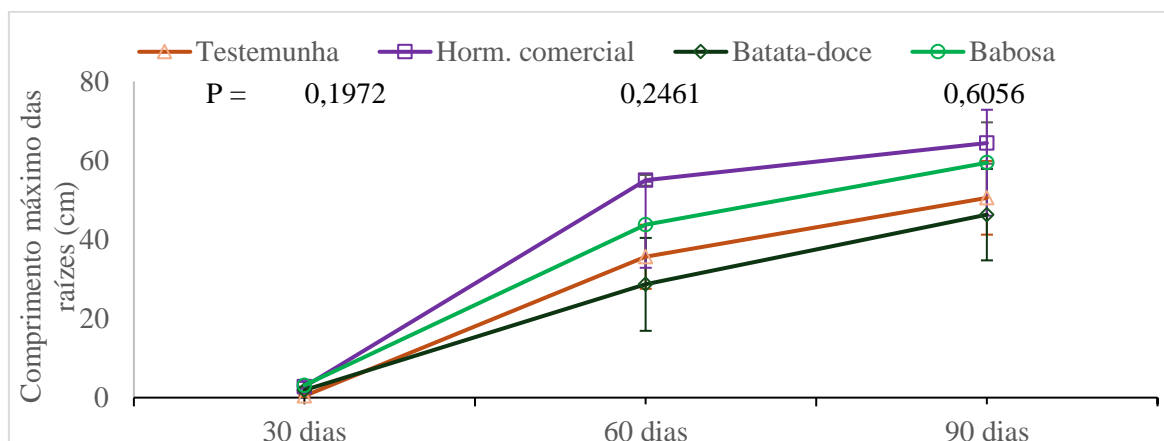


Figura 18: Comprimento máximo das raízes das estacas de café aos 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha iniciaram com um comprimento máximo de raízes de 0,4 cm aos 30 dias, com um aumento significativo para 35,6 cm aos 60 dias. Aos 90 dias, o comprimento máximo das raízes alcançou 64,4 cm. Esses resultados indicam um crescimento robusto ao longo do tempo, mas a comparação com os outros tratamentos revela que a testemunha não se destaca particularmente. As estacas tratadas AIB, apresentaram um comprimento máximo das raízes de 2,8 cm aos 30 dias, crescendo para 55,0 cm aos 60 dias.

Contudo, aos 90 dias, esse comprimento diminuiu para 50,5 cm. Apesar do crescimento inicial favorável, a queda no comprimento máximo das raízes entre os dois últimos períodos sugere que o AIB, pode ter efeitos variáveis na promoção do crescimento radicular a longo prazo.

Para as estacas tratadas com extrato da batata-doce, o comprimento máximo das raízes foi de 1,9 cm aos 30 dias, progredindo para 28,7 cm aos 60 dias e 46,3 cm aos 90 dias. O crescimento contínuo é observado, mas os valores são inferiores aos das estacas tratadas com AIB, nos primeiros 60 dias.

As estacas tratadas com extrato da babosa começaram com um comprimento máximo das raízes de 3,1 cm aos 30 dias, aumentando para 43,7 cm aos 60 dias e alcançando 59,4 cm aos 90 dias. Embora não tenha superado o comprimento máximo das raízes da testemunha no último período, o crescimento geral foi consistente, e a babosa se destacou na fase inicial de crescimento.

4.10. Média de folhas por estaca

A média de folhas por estaca foi avaliada ao longo dos períodos de 30, 60 e 90 dias para determinar o impacto dos diferentes tratamentos na folhagem das estacas de cafezeiro (Figura 19). A presença de folhas é um indicador crucial da saúde e do vigor das plantas, influenciando diretamente sua capacidade de fotossíntese e crescimento.

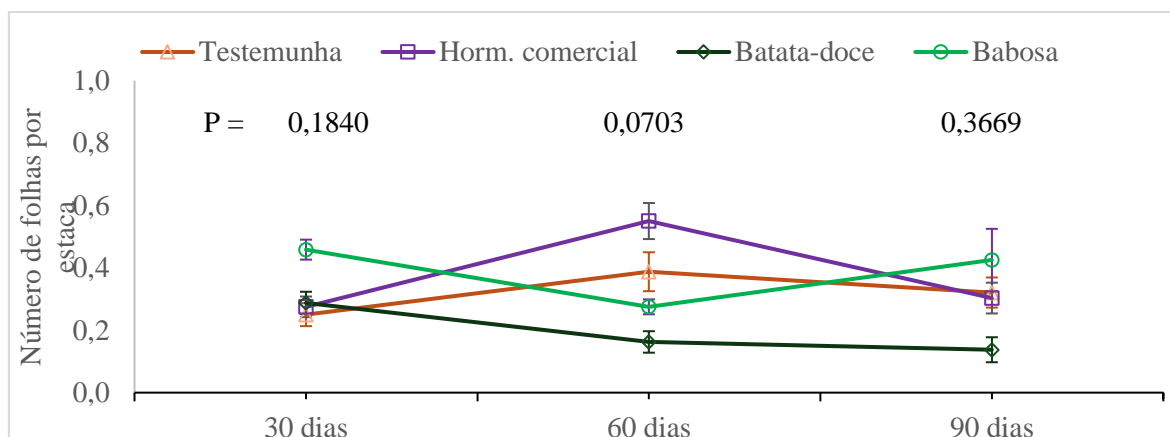


Figura 19: Média de folhas das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias da instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha apresentaram uma média de folhas de 0,3 aos 30 dias, aumentando levemente para 0,4 aos 60 dias, antes de retornar para 0,3 folhas aos 90 dias. Este padrão sugere uma estabilidade no número de folhas, mas sem um crescimento significativo.

As estacas tratadas com AIB, mostraram uma média de 0,3 folhas aos 30 dias, um aumento para 0,6 folhas aos 60 dias, mas também retornando a 0,3 folhas aos 90 dias.

O aumento na média de folhas no segundo período indica uma resposta positiva ao tratamento com AIB, embora essa resposta não se mantenha no último período.

Para as estacas com batata-doce, a média de folhas foi constante em 0,3 aos 30 dias, mas diminuiu para 0,2 aos 60 dias e 0,1 aos 90 dias. Esse padrão de queda sugere que o tratamento com extrato da batata-doce pode não ter contribuído para o desenvolvimento foliar e, na verdade, resultou em uma redução na média de folhas ao longo do tempo.

As estacas tratadas com extrato da babosa começaram com uma média de 0,5 folhas aos 30 dias, caindo para 0,3 folhas aos 60 dias, e aumentando novamente para 0,4 folhas aos 90 dias. Sendo que o tratamento com babosa apresentou a maior média inicial, embora tenha flutuado ao longo do tempo, sugerindo que o extrato da babosa pode ter um efeito mais positivo no início, mas que esse efeito não é mantido a todo o período.

4.11. Raízes por estaca

A média de raízes por estaca foi examinada ao longo de 30, 60 e 90 dias para avaliar o efeito dos diferentes tratamentos no enraizamento das estacas de cafezeiro (Figura 20). O número de raízes formadas é um indicador fundamental do sucesso no enraizamento e, conseqüentemente, da saúde e viabilidade das plantas.

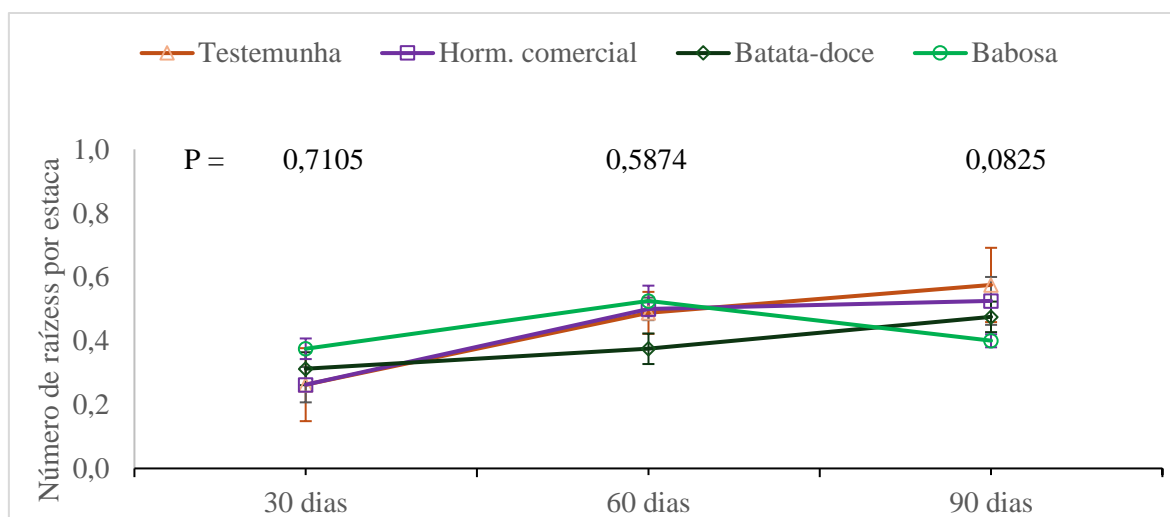


Figura 20: Média de raízes das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias de observação desde a instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

As estacas da testemunha apresentaram uma média de 0,3 raízes aos 30 dias, um leve aumento para 0,5 raízes aos 60 dias e um leve crescimento adicional para 0,6 raízes aos 90

dias. Embora tenha havido um aumento, os valores permanecem baixos, sugerindo um desenvolvimento de raízes limitado.

As estacas tratadas com AIB, mostraram uma média constante de 0,8 raízes aos 30 dias, com alteração no número de raízes em relação ao segundo período (6) e um pequeno acréscimo para 9 raízes aos 90 dias. Isso sugere que o AIB, pode ter um efeito positivo inicial, e com um desenvolvimento contínuo.

As estacas tratadas com extrato da batata-doce apresentaram uma média de 0,3 raízes aos 30 dias, seguida de uma leve diminuição para 0,4 raízes aos 60 dias, e mantendo-se em 0,5 raízes aos 90 dias. Isso indica que o tratamento com o extrato da batata-doce não resultou em um aumento significativo na média de raízes ao longo do tempo.

As estacas tratadas com extrato da babosa iniciaram a sua inoculação com uma média de 0,4 raízes aos 30 dias, mantendo-se em 0,5 raízes aos 60 dias e diminuindo ligeiramente para 0,4 raízes aos 90 dias. O tratamento com babosa mostra um desempenho ligeiramente superior em comparação com os outros tratamentos, especialmente no início, figura 11.

4.12. Comprimento do caule

Aos 30 dias não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, embora haja um aumento significativo aos 60 dias no tratamento com o extrato da babosa atingindo o seu máximo aos 90 dias (Figura 21). Seguiu-se o tratamento com AIB com um crescimento substancial do comprimento do caule. O tratamento com o extrato da batata-doce manteve um comprimento mais baixo. Assim sendo, aferimos que houve diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que babosa originou maior comprimento do caule.

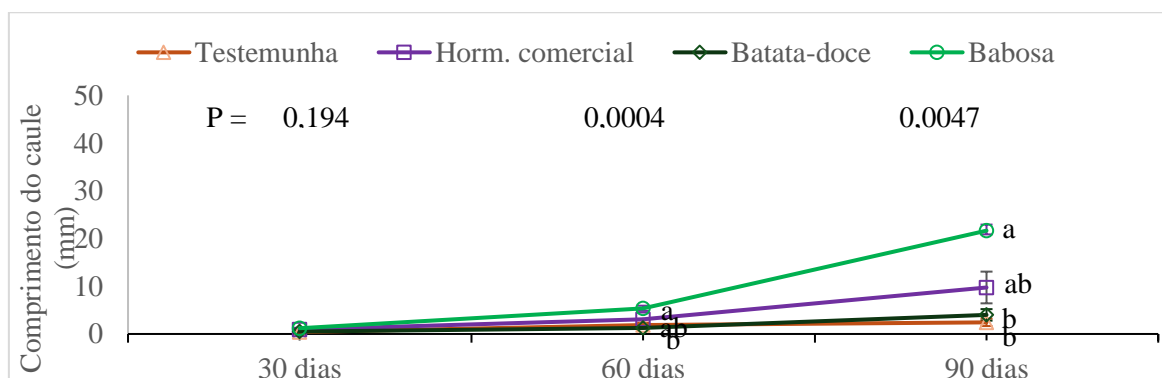


Figura 21: Média do comprimento dos caules das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias de observação desde a instalação do experimento, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

4.12. Diâmetro do caule

O diâmetro do caule das estacas brotadas não diferiu significativamente entre tratamentos ao longo do tempo (30 dias, $p = 0,251$; 60 dias, $p = 0,0773$; e 90 dias, $p = 0,5518$) (Figura 22). Apesar das mínimas oscilações dos resultados parece que o uso de AIB e os bioestimulantes, extrato de batata-doce e de babosa não, interferiram significativamente no diâmetro do caule das estacas de café ao fim dos 90 dias.

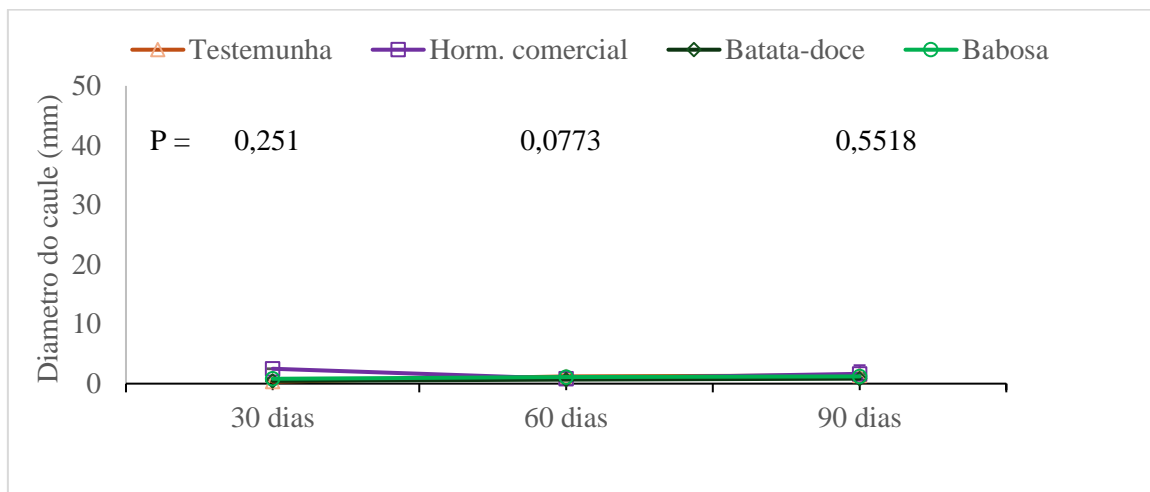


Figura 22: Diâmetros dos caules das estacas de café, avaliadas após 30, 60 e 90 dias, em estacas submetidas a tratamentos com hormona comercial (ácido indolbutírico), extratos de batata-doce e de babosa e testemunha. P, probabilidade associada a cada data da amostragem.

5. DISCUSSÃO

O estudo realizado para avaliar o impacto de diferentes tratamentos no enraizamento de estacas de café Robusta forneceu uma visão abrangente sobre os vários parâmetros que influenciam o desenvolvimento das plantas, desde o enraizamento até ao crescimento vegetativo. Os tratamentos utilizados, incluindo a hormona comercial, o extrato da batata-doce e o extrato da babosa foram comparados com uma testemunha em várias fases de desenvolvimento (30, 60 e 90 dias) e os parâmetros analisados englobaram estacas mortas, vivas e não brotadas, estacas com brotações, com brotações ativas e dormentes, além de análises do enraizamento e do comprimento das raízes.

Estudos similares foram realizados com o objetivo de avaliar diferentes técnicas e produtos na propagação vegetativa de espécies de interesse económico, como o café e outras culturas perenes. Pereira et al. (2001); Moreira et al. (2021); Arejano et al. (2022) por exemplo, investigaram o enraizamento de estacas de café Arábica em estufa, demonstrando que a utilização de ambientes controlados e o manejo adequado de humidade e temperatura foram fatores críticos para o sucesso da propagação.

Além disso, o uso de bioestimulantes tem sido amplamente estudado como alternativa ou complemento aos reguladores de crescimento sintéticos, contribuindo não apenas para o enraizamento, mas também para o vigor inicial das mudas. Borges et al. (2011) verificaram que a aplicação de bioestimulantes em mudas de café proporcionou melhorias significativas no crescimento radicular e na brotação, resultados que convergem com as observações deste estudo.

O papel de substratos e condições ambientais também foi destacado por Santos et al. (2010), que avaliaram diferentes substratos e reguladores vegetais no enraizamento de estacas de pitaya, destacando que a combinação entre o tipo de substrato e o regulador pode influenciar diretamente na taxa de enraizamento e no desenvolvimento das brotações. Essa interação entre fatores físicos (substrato), químicos (regulador) e biológicos (qualidade das estacas) também foi observada em estudos sobre a propagação de outras culturas, como a pimenta-do-reino (Oliveira et al., 2020) e a *Mimosa caesalpinifolia* (Silva et al., 2022).

A batata-doce é um tubérculo que contém uma percentagem de hormona natural semelhante à da tiririca (*Cyperus rotundus*). Segundo Mahmoud et al., (2009) o extrato do tubérculo de tiririca possui ação bioestimulante. Muniz et al. (2007) relataram que o extrato

de bolbos de tiririca interfere na qualidade fisiológica e na atividade de enzimas envolvidas no processo de enraizamento e propagação de diversas estacas de frutíferas.

No caso específico do café, a escolha de reguladores de crescimento, como AIB, já foi extensivamente avaliada. Nicknich et al. (2013) destacaram a eficácia do AIB no enraizamento de estacas de quaresmeira, enquanto Ngolo et al. (2018) reforçaram a importância de condições agroclimáticas favoráveis para o sucesso da propagação de café Robusta em Angola, o que demonstra que além dos tratamentos aplicados, fatores externos como clima, humidade e temperatura influenciam diretamente a performance vegetativa inicial das mudas.

Outro ponto relevante é o papel da origem e da maturidade das estacas, que pode determinar o potencial de enraizamento. Pinheiro et al. (2024) e Moreira et al. (2021) demonstraram que a associação entre a maturidade das estacas e o tipo de substrato influencia significativamente o enraizamento de acerola, uma observação que pode ser extrapolada para culturas lenhosas como o café.

Estudos recentes, como o de Negrelli et al. (2023) e Mirihagalla et al. (2020), também reforçaram o papel dos bioestimulantes na construção de sistemas agrícolas sustentáveis, promovendo não apenas o crescimento inicial das plantas, mas também aumentando a resiliência das mudas a condições ambientais adversas. Isso é particularmente relevante no contexto da produção de café em regiões tropicais, onde a variabilidade climática pode afetar diretamente o sucesso do estabelecimento das plantas no campo.

No presente estudo, a observação de diferentes respostas entre os tratamentos, especialmente entre extrato da batata-doce e extrato da babosa, corrobora achados de Roupheal et al., (2021) e Arejano et al. (2022) que indicaram que bioestimulantes naturais podem apresentar efeitos diferenciados dependendo da cultura, da fase fenológica e das condições ambientais. Isso reforça a importância de adaptar as práticas de propagação vegetativa às condições específicas de cada local e espécie.

5.1. Estacas mortas

O percentual de estacas mortas foi maior na testemunha ao longo dos três períodos avaliados, atingindo 36,3% aos 90 dias. Comparativamente, os tratamentos com AIB, o tratamento com extrato da batata-doce e babosa apresentaram menores percentagens de

mortalidade, com a hormona comercial sendo a mais eficaz, demonstrando os menores valores (6,3% aos 90 dias).

Valores semelhantes foram observados em estudos conduzidos por Nicknich et al. (2013), que verificaram uma redução significativa na mortalidade de estacas de quaresmeira tratadas com AIB, especialmente em ambientes controlados com manejo adequado de humidade e temperatura. A eficiência do AIB na redução da mortalidade de estacas é amplamente documentada, especialmente em culturas lenhosas, devido ao seu papel na indução da formação de raízes adventícias e na rápida cicatrização dos cortes (Kumarasinghe et al., 2024).

Da mesma forma, bioestimulantes naturais, como extratos vegetais, têm demonstrado potencial para reduzir o stresse oxidativo e favorecer a cicatrização inicial das estacas, contribuindo para a redução da mortalidade em diversos cultivos (Rouphael et al., 2021; Arejano et al., 2022).

O uso de extratos de plantas com propriedades bioestimulantes, como a batata-doce e a babosa, também encontra respaldo na literatura. Borges et al. (2011) e Negrelli Boeira et al. (2023) destacam que esses extratos, ricos em compostos fenólicos, auxinas naturais e antioxidantes, podem promover a integridade fisiológica das estacas, minimizando os efeitos de choques hídricos e oxidativos após o estaqueamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al., (2020) e Zhang et al. (2024) no enraizamento de estacas de pimenta-do-reino, em que a mortalidade foi significativamente reduzida nos tratamentos com bioestimulantes à base de extratos vegetais.

Esses resultados sugerem que os tratamentos testados podem contribuir para a redução da mortalidade das estacas, com destaque para o tratamento com AIB, que demonstrou ser particularmente eficiente (Figura 10). Além disso, a combinação de fatores como a aplicação de bioestimulantes, o controle ambiental e a seleção de estacas de boa qualidade são estratégias essenciais para o sucesso da propagação vegetativa de café Robusta, conforme também recomendado por Pereira et al. (2001) e Santos et al. (2010).

5.2. Estacas vivas e não brotadas

Ao longo do tempo, houve uma diminuição no percentual de estacas vivas e não brotadas em todos os tratamentos, o que é esperado à medida que as estacas ou desenvolvem

brotações ou não sobrevivem. Esse padrão é amplamente documentado em estudos de propagação vegetativa, onde a capacidade de emitir brotações está diretamente ligada ao equilíbrio hormonal e à saúde fisiológica da estaca (Bhattacharjee et al., 2005).

Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, indicando que nenhum deles favoreceu diretamente a manutenção das estacas sem brotações, uma vez que o foco foi o estímulo ao enraizamento e ao desenvolvimento vegetativo (Figura 11).

Esse comportamento é coerente com os achados de Fachinello et al. (2005), que destacam que, após o período inicial de cicatrização e adaptação, as estacas tendem a seguir um de dois caminhos: iniciar o processo de brotação ou entrar em colapso fisiológico, especialmente em espécies lenhosas como café robusta.

A literatura sugere que fatores como o balanço hormonal interno (relação entre auxinas e citocininas), a disponibilidade de água e nutrientes, e as condições microambientais (temperatura e umidade relativa) são determinantes para a ativação ou inibição de gemas laterais, responsáveis pela emissão de brotações (Taiz et al., 2017). Nesse sentido, tratamentos à base de AIB e bioestimulantes naturais podem ter contribuído para a ativação inicial de processos de enraizamento e diferenciação celular, mas sem efeito direto sobre a manutenção prolongada de estacas vivas sem brotações.

Estudos em outras culturas, como café arábica e fruteiras tropicais, mostram que a ausência de brotações, mesmo em estacas vivas, pode estar associada a fatores genéticos, ao vigor inicial da estaca e ao estado de dormência da gema no momento da coleta (Pereira et al., 2001; Bhutto et al., 2023). Dessa forma, a ausência de efeitos diferenciais entre os tratamentos reforça a ideia de que o controle da dormência e o estímulo à brotação são processos multifatoriais, pouco dependentes apenas da presença de hormônios exógenos.

5.3. Estacas com brotações

O percentual de estacas com brotações foi consistentemente maior nos tratamentos com AIB e extrato da babosa, atingindo valores superiores a 80% aos 90 dias. Esses resultados corroboram estudos prévios que demonstram o efeito positivo das auxinas no estímulo à divisão celular e na ativação de gemas laterais em processos de propagação vegetativa (Fachinello et al., 2005; Mirihagalla et al., 2020).

A babosa tem sido amplamente estudada por sua composição rica em compostos bioativos, incluindo polissacarídeos, fenóis e compostos hormonais semelhantes a auxinas e giberelinas, que podem atuar como bioestimulantes naturais, promovendo o crescimento radicular e a ativação de gemas de brotação (Mirihaqalla et al., 2020).

Assim, a combinação entre o efeito hormonal do AIB e os efeitos bioestimulantes da babosa explica os elevados percentuais de brotação observados nesses tratamentos.

Comparativamente, a testemunha apresentou percentagens mais baixas de estacas com brotações, sugerindo que a ausência de estímulos externos limitou a ativação de gemas laterais.

Estudos com café Robusta e outras espécies lenhosas relatam que o estímulo exógeno é frequentemente necessário para superar a dormência inicial das gemas em estacas apicais e semilenhosas, sobretudo em condições de propagação controlada (Pereira et al., 2001; Ruben et al., 2024). Esses resultados indicam que tanto a babosa quanto a hormona comercial foram eficazes em promover a brotação das estacas, com vantagem significativa sobre a testemunha (Figura 12). Resultados semelhantes foram encontrados em estudos com estacas de espécies frutíferas e florestais, onde o uso de bioestimulantes vegetais e auxinas sintéticas aumentou significativamente a taxa de brotação e enraizamento (Arejano et al., 2022; Oliveira et al., 2020).

5.4. Estacas com brotações ativas

As estacas com brotações ativas, que são um indicativo direto do vigor e da saúde da planta, apresentaram melhores resultados nos tratamentos com AIB e com extrato da babosa, que superaram significativamente a testemunha, principalmente aos 90 dias. Esses resultados são consistentes com a literatura, que destaca o papel fundamental das auxinas no estímulo à divisão celular, alongamento dos caules e mobilização de reservas para sustentação do crescimento inicial das brotações (Bhutto et al., 2023; El-Banna et al., 2023).

O tratamento com extrato da babosa, em particular, demonstrou uma performance satisfatória, sugerindo que os compostos bioativos presentes na babosa, como polissacarídeos, aminoácidos, giberelinas e compostos fenólicos, contribuem para a indução de crescimento mais vigoroso nas brotações. Estudos indicam que extratos vegetais ricos em fito-hormonas naturais e antioxidantes podem reduzir o stresse oxidativo das estacas e

promover o desenvolvimento saudável de novas brotações (Abdullah et al., 2024; Oliveira et al., 2020).

A superioridade do AIB nesse parâmetro reforça a importância da suplementação exógena com auxinas sintéticas para superar a dormência inicial e acelerar o metabolismo das gemas apicais e laterais em estacas de difícil enraizamento, como frequentemente observado em café Robusta e outras espécies lenhosas (Pereira et al., 2001).

Trabalhos anteriores com espécies frutíferas e florestais propagadas por estacas semi-lenhosas também demonstraram o impacto positivo de bioestimulantes naturais e reguladores sintéticos no crescimento vegetativo inicial (Fachinello et al., 2005; Rúben et al., 2024).

Assim, os resultados obtidos reforçam a viabilidade da utilização do extrato de babosa como alternativa viável e sustentável para promover vigor e crescimento em estacas de café Robusta, além de reforçarem o efeito consolidado do AIB na propagação clonal de espécies perenes (Figura 13).

5.5. Estacas com brotações dormentes

Os dados referentes às brotações dormentes mostraram que o tratamento com AIB foi o mais eficaz na redução dessas brotações ao longo do tempo, especialmente aos 90 dias, com apenas 18,4% de estacas apresentando brotações dormentes.

Esse resultado reflete a conhecida capacidade do AIB de estimular não apenas a indução de raízes, mas também a quebra da dormência e a promoção do crescimento ativo das gemas, resultado amplamente documentado na literatura para diversas espécies propagadas vegetativamente (Fachinello et al., 2005; Rúben et al., 2024).

A eficiência do AIB pode ser atribuída ao seu efeito direto na mobilização de reservas e no estímulo da atividade meristemáticas, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento de brotações ativas e redução da inibição apical causada por fatores fisiológicos de dormência (Kurepin et al., 2017). Em espécies perenes tropicais, como café Robusta, a dormência das gemas pode ser intensificada por fatores ambientais e endógenos, sendo a aplicação de auxinas exógenas uma prática eficaz para acelerar a transição da fase dormente para a fase de crescimento ativo (Pereira et al., 2001; Moreira et al., 2021).

O extrato de babosa também se destacou, demonstrando que pode contribuir para a redução da dormência das brotações. Esse efeito pode ser atribuído à presença de compostos

bioativos, como giberelinas, citoquininas e compostos fenólicos presentes na babosa, que atuam em sinergia para promover a quebra de dormência e estimular o metabolismo celular das gemas, facilitando o desenvolvimento de novas brotações (Oliveira et al., 2020; El-Banna et al., 2023).

Portanto, a utilização combinada de reguladores de crescimento sintéticos (AIB) e bioestimulantes naturais (babosa) pode representar uma estratégia sustentável e eficaz para otimizar a propagação vegetativa de café Robusta, reduzindo o período de dormência e promovendo a obtenção de mudas vigorosas e uniformes (Figura 14).

5.6. Estacas enraizadas e não enraizadas

Em relação às estacas enraizadas, observou-se que o tratamento com AIB foi novamente o tratamento mais eficaz, com uma percentagem de enraizamento de 82,8% aos 90 dias. Esse elevado desempenho é consistente com diversos estudos que demonstram a eficácia do AIB na indução e aceleração do enraizamento adventício em estacas lenhosas e semi-lenhosas, como em *Coffea* spp. e outras espécies de interesse agronômico (Singh et al., 2019; Rauben et al., 2024).

O AIB, por ser uma auxina sintética de elevada estabilidade, é amplamente utilizado na propagação vegetativa devido à sua capacidade de estimular a diferenciação celular e a formação de primórdios radiculares, mesmo em espécies com maior dificuldade de enraizamento (Fachinello et al., 2005; Colombo et al., 2008). A babosa também apresentou um desempenho notável, com 75,9% de estacas enraizadas aos 90 dias. Esse resultado reforça o potencial da babosa como bioestimulante natural no enraizamento de estacas, o que pode estar relacionado à presença de compostos bioativos como polissacarídeos, giberelinas, citoquininas e compostos fenólicos, conhecidos por estimular a divisão celular, promover a síntese de proteínas e favorecer a formação de raízes adventícias (Lanka, 2018; Oliveira et al., 2020; El-Banna et al., 2023). O uso de bioestimulantes naturais, além de favorecer o enraizamento, é uma alternativa sustentável e de baixo custo, especialmente em sistemas de produção com recursos limitados ou onde há interesse em reduzir o uso de reguladores sintéticos.

Por outro lado, as estacas não enraizadas apresentaram uma tendência oposta, com percentagens mais elevadas na testemunha, especialmente nos primeiros 30 dias. A ausência de tratamentos favorecedores do enraizamento resultou em uma maior mortalidade ou

estagnação no desenvolvimento radicular, refletindo a dificuldade natural de Café Robusta em emitir raízes adventícias sem a presença de estímulos exógenos adequados (Bhatt et al., 2010; Pereira et al., 2001; Benin et al., 2013; Barbosa et al., 2023).

Esses resultados indicam que tanto a hormona comercial quanto a babosa possuem potencial significativo para promover o enraizamento de estacas de café Robusta, reduzindo a quantidade de estacas não enraizadas (Figura 15 e 16).

A combinação de técnicas tradicionais (uso de AIB) e alternativas ecológicas (uso de babosa) pode ser uma estratégia eficiente para otimizar a propagação vegetativa dessa cultura em viveiros comerciais e sistemas agroecológicos.

5.7. Comprimento mínimo e máximo das raízes

Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas no comprimento mínimo das raízes entre os tratamentos, os resultados referentes ao comprimento máximo mostraram que a hormona comercial (AIB) foi eficaz em promover raízes mais longas, especialmente aos 60 dias, com um comprimento máximo de 55,0 cm. Esse efeito positivo está de acordo com estudos prévios, nos quais o AIB foi amplamente reconhecido por promover não apenas a indução de raízes, mas também o alongamento das raízes formadas em espécies lenhosas e semi-lenhosas, como o cafeeiro e outras culturas de interesse econômico (Fachinello et al., 2005; Rúben et al., 2024).

A babosa também se destacou no estímulo ao crescimento radicular, especialmente aos 90 dias, atingindo um comprimento máximo de 59,4 cm. Esse resultado é consistente com evidências que indicam a presença de compostos bioativos na babosa, como polissacarídeos, fenóis e hormonas vegetais (giberelinas e citoquininas), capazes de atuar positivamente na alongação radicular e na absorção de água e nutrientes pelas raízes (Bhutto et al., 2024; Oliveira et al., 2020). Além disso, o uso de bioestimulantes naturais tem sido recomendado por seu papel em fortalecer o sistema radicular, aumentando a resistência das plantas a condições de stresse, como déficit hídrico ou limitações nutricionais (Khan et al., 2012).

Esses dados indicam que os tratamentos testados têm um efeito positivo no desenvolvimento do sistema radicular das estacas, o que é essencial para garantir a estabilidade das plantas no solo e a sua capacidade de absorção de água e nutrientes, fatores determinantes para o estabelecimento inicial e o crescimento saudável das mudas em campo (Figura 17 e 18).

5.8. Média de folhas por estaca

A média de folhas por estaca foi relativamente baixa em todos os tratamentos, (figura 19), o que é comum em fases iniciais de propagação vegetativa, uma vez que o foco fisiológico das estacas é direcionado prioritariamente para a sobrevivência, enraizamento e brotação, antes de alocar recursos para a expansão da área foliar (Benin et al., 2013; Souza et al., 2020).

A testemunha, a hormona comercial e a batata-doce apresentaram resultados similares ao longo do período de avaliação, sugerindo que a formação de folhas é uma característica relativamente independente do tratamento hormonal, pelo menos nas primeiras fases do desenvolvimento.

No entanto, o tratamento com babosa destacou-se ligeiramente aos 30 dias, sugerindo que o extrato de babosa pode ter um efeito inicial estimulante no desenvolvimento foliar. Este efeito pode ser atribuído à presença de compostos bioativos, como polissacarídeos e fenóis, além de pequenas quantidades de fito-hormonas naturais (giberelinas e citoquininas) presentes no gel de aloé vera, que têm sido relacionados ao estímulo de processos fisiológicos como a divisão e expansão celular nas folhas emergentes (Borges et al., 2011; Oliveira et al., 2020; Rezende et al., 2020).

Apesar desta tendência positiva no início do experimento, esse efeito não foi estatisticamente significativo ao longo do tempo, indicando que a formação foliar em estacas de café Robusta pode depender de outros fatores, como a disponibilidade de reservas internas das estacas e as condições ambientais (luz, temperatura e humidade) durante o enraizamento (Taiz et al., 2017). Estes resultados reforçam a importância de associar tratamentos bioestimulantes a boas práticas de manejo ambiental para maximizar o potencial de crescimento vegetativo.

5.9. Média de raízes por estaca

A média de raízes por estaca não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ao longo dos 90 dias. Esse resultado é coerente com estudos anteriores sobre a propagação vegetativa de espécies lenhosas e semi-lenhosas, em que a formação radicular pode ser influenciada por uma série de fatores fisiológicos intrínsecos das estacas,

como a presença de reservas de hidratos de carbono, equilíbrio hormonal endógeno e capacidade de resposta ao ambiente de enraizamento (Fachinello et al., 2005).

Ainda assim, verificou-se uma tendência positiva nos tratamentos com babosa e com o AIB, que favoreceram a formação de um número ligeiramente maior de raízes. Essa tendência sugere que a aplicação de bioestimulantes ou reguladores de crescimento pode atuar no sentido de ampliar o estímulo à organogênese radicular, mesmo quando o efeito não é suficientemente robusto para gerar diferenças significativas em curtos períodos de avaliação (Oliveira et al., 2020; Rezende et al., 2021).

A literatura destaca que extratos vegetais, como os da aloé vera, possuem compostos bioativos, incluindo polissacarídeos, aminoácidos e pequenas quantidades de auxinas e giberelinas, que podem atuar sinergicamente no estímulo da rizogênese em estacas de difícil enraizamento (Ait Hammou et al., 2022; Bhutto et al., 2024). A formação de um sistema radicular mais robusto é uma vantagem relevante, pois melhora a fixação da planta ao solo, a sua capacidade de absorção de água e nutrientes e a tolerância a stresses ambientais durante o estabelecimento inicial (Taiz et al., 2017; Husin et al., 2022).

Os resultados observados, portanto, reforçam a ideia de que o uso de bioestimulantes naturais, como a babosa, pode ser uma alternativa promissora ao uso exclusivo de reguladores sintéticos, especialmente em sistemas de propagação sustentável de café Robusta (figura 20).

5.10. Comprimento do caule

A média do comprimento dos caules não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ao longo dos 90 dias. Esse resultado sugere que, embora os bioestimulantes e o regulador sintético possam ter efeitos benéficos sobre o enraizamento e a brotação, a resposta em termos de crescimento em comprimento do caule pode depender de outros fatores, como a disponibilidade de nutrientes, condições ambientais e a própria capacidade fisiológica das estacas de café Robusta (Surjushe et al., 2008; Taiz et al., 2017).

O tratamento com AIB destacou-se ligeiramente, apresentando caules com maior comprimento durante os 90 dias, seguido pelo tratamento com o extrato de babosa. Esse comportamento pode estar relacionado à atuação das auxinas, que são amplamente reconhecidas por seu papel na promoção do alongamento celular e no crescimento apical das plantas (Fachinello et al., 2005; Taiz et al., 2017).

Por outro lado, o tratamento com extrato de batata-doce foi o que apresentou menor média de comprimento de caule. Esse resultado pode estar associado ao fato de que a batata-doce, embora contenha compostos orgânicos que podem atuar como bioestimulantes, parece ter menor concentração de fito-hormonas diretamente relacionados ao crescimento do caule em comparação com a babosa e o AIB (Benin et al., 2013; Bhutto et al., 2023).

O comprimento do caule é um parâmetro importante, pois caules mais longos e vigorosos podem favorecer a melhor fixação da planta no solo e ampliar a área foliar, potencializando a capacidade fotossintética e o acúmulo de biomassa, fatores essenciais para o estabelecimento inicial e a produtividade futura das plantas (Oliveira et al., 2020; Taiz et al., 2017). Esses resultados reforçam a importância de associar a escolha de bioestimulantes adequados com boas práticas de manejo, garantindo condições favoráveis para o crescimento inicial das estacas de café robusta (figura 21).

5.11. Diâmetro do caule

Os valores médios do diâmetro do caule apresentaram certa oscilação ao longo dos períodos avaliados (30, 60 e 90 dias), refletindo a influência de fatores ambientais, fisiológicos e a adaptação das estacas às condições de enraizamento (figura 22). No entanto, observou-se que o tratamento com o extrato de babosa resultou em um crescimento mais uniforme, com ligeira superioridade em relação aos tratamentos com AIB, extrato de batata-doce e a testemunha.

O melhor desempenho da babosa pode ser explicado pela presença de compostos bioativos, como polissacarídeos, fenóis e aminoácidos, que além de favorecerem o enraizamento, também atuam de forma positiva na formação e no desenvolvimento dos tecidos vasculares e de sustentação da planta (Taiz et al., 2017; Bhutto et al., 2024). Isso contribui para a formação de caules mais robustos, o que é essencial para garantir a resistência mecânica da planta e sua capacidade de transporte de água e nutrientes.

O AIB, por sua vez, mostrou uma tendência de estimular o crescimento inicial do diâmetro do caule, principalmente nos primeiros 60 dias, o que pode estar relacionado ao seu efeito direto na divisão e alongamento celular (Kurepin et al., 2017; Fachinello et al., 2005).

No entanto, esse efeito não se manteve tão evidente aos 90 dias, sugerindo que a continuidade do desenvolvimento do caule pode depender de outros fatores além do estímulo inicial ao enraizamento, como a atividade metabólica geral da estaca e a capacidade de captação de nutrientes do substrato.

O extrato de batata-doce apresentou um desempenho inferior em comparação com os demais tratamentos, o que pode estar relacionado à menor concentração de compostos bioativos específicos com potencial para estimular o crescimento do caule (Rúben et al., 2024; Simanjuntak et al., 2021).

A testemunha, como esperado, teve o menor desempenho ao longo do período experimental, reforçando a importância do uso de bioestimulantes no processo de propagação vegetativa. Assim, os resultados obtidos confirmam que a aplicação de bioestimulantes naturais, como o extrato de babosa, pode ser uma estratégia eficiente para promover o desenvolvimento de estacas de café Robusta, contribuindo para a obtenção de plantas com melhor vigor estrutural e maior capacidade de adaptação após o transplante (Borges et al., 2011; Oliveira et al., 2020; Abdullah et al., 2024).

6. CONCLUSÃO

De modo geral, os tratamentos com AIB e extrato de babosa destacaram-se na maioria dos parâmetros avaliados, demonstrando maior eficácia na promoção do enraizamento, no estímulo à brotação e no desenvolvimento radicular das estacas de café Robusta. Esses bioestimulantes não apenas promoveram maior percentagem de estacas enraizadas e com brotações ativas, como também favoreceram a formação de raízes mais longas e vigorosas, indicando um impacto positivo na capacidade de absorção de água e nutrientes, fatores essenciais para o estabelecimento das plantas.

Comparativamente, a testemunha apresentou desempenho inferior em praticamente todas as variáveis avaliadas, reforçando a importância da aplicação de bioestimulantes no processo de propagação clonal. O extrato de batata-doce, embora tenha mostrado algum efeito positivo em determinadas variáveis, revelou-se menos eficaz do que o AIB e a babosa, sugerindo que seu potencial como bioestimulante para estacas de café Robusta pode ser limitado ou depender de ajustes na formulação e na forma de aplicação.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o uso de AIB e extrato de babosa pode ser recomendado como estratégias promissoras para a propagação clonal de café Robusta, contribuindo para o aumento da taxa de sucesso no enraizamento, no vigor inicial das plantas e, potencialmente, no desempenho produtivo das lavouras no campo.

Investimentos futuros em pesquisas complementares, especialmente em condições de campo, poderão aprofundar a compreensão sobre a persistência desses efeitos ao longo do ciclo produtivo, assim como a viabilidade econômica da utilização desses bioestimulantes em larga escala para produtores de café.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ait Hammou, R., Harrouni, C., Ben El Caid, M., Hallouti, A., Baroud, S., & Daoud, S. (2022). **Establishment of argan tree plantlets (*Argania spinosa* (L.) skeels) grown from generative and vegetative propagation under different watering regimes at the nursery stage.** *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.10245>
- Abbas, S., Zagloul, M., El-Ghadban, E., Abd El-Kareem, S., & Waly, A. (2016). **Effect of foliar application with Aloe leaf extract (ale) on vegetative growth, oil percentage and anatomical leaf structure of sage (*Salvia officinalis* L.) plant under sand soil conditions.** *Hortscience Journal of Suez Canal University*, 5(1), 9–14. <https://doi.org/10.21608/hjsc.2016.6401>
- Araújo, B. B., Andrade, J. L. R., Nunes, M. de S., Gedanken, V., & Araújo, L. C. W. (2017). **Café: construção de viveiros e produção de mudas (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Vol. II).** SENAR – Brasília: Senar.
- Abdel-Rahman, Abdul-Hafeez and Asmaa M.M, Saleh (2020) **Improving rooting and growth of conocarpus erectus stem cuttings using indole-3-butyric acid (IBA) and some biostimulants.** *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 7(2), 109–129. <https://doi.org/10.21608/sjfop.2020.96213>
- Akperterey, A., Anim-Kwapong, E., Adu-Gyamfi, P. K. K., & Ofori, A. (2022). **Genetic variability for vigor and yield of robusta Coffee clones in Ghana.** *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10192>
- Andrade, F. H. A. de. (2021). **Melatonina e AIB no enraizamento de estacas de cafeeiro arábica.** Universidade Federal de Lavras.
- Abdullah, U. H., Maharani, A., Ihsan, S. M., Akbar, Y., & Akbar, H. (2024). **The effect of giving aloe vera growth regulators to entres on the success of grafting honey mango seedlings (*Mangifera indica*).** *JERAMI: Indonesian Journal of Crop Science*, 7(1), 1–4. <http://jerami.faperta.unand.ac.id/index.php/Jerami-JIJCS/article/view/159>
- Arejano, L. M., Bartz, R. M., Santos, T. S. D., Ramos, G. H., Gadotti, G. I., & Quadro, M. S. (2022). **Uso de bioestimulantes na produção agrícola. Aspectos da biotecnologia agrícola aplicada.** <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-08-4.c2>

- Arunyanark, A., Roonprapant, P., Sridokchan, T., & Chutteang, C. (2022). **Effect of water deficit and propagation methods on physiological responses of robusta Coffee (*Coffea canephora*) varieties.** *Agriculture and Natural Resources*, 56(6). <https://doi.org/10.34044/j.anres.2022.56.6.07>
- Azevedo, H., Mendonça De Carvalho, A., Alves Vidal, D., Oliveira Dos Santos, H., & Doria Rodrigues, J. (2020). **Rooting biostimulants for *Coffea arabica* L. cuttings.** *Coffee Science*, 15, 1–9. <https://doi.org/10.25186/.v15i.1635>
- Awada, R., Lepelley, M., Breton, D., Charpagne, A., Campa, C., Berry, V., Georget, F., Breitler, J.-C., Léran, S., Djerrab, D., Martinez-Seidel, F., Descombes, P., Crouzillat, D., Bertrand, B., & Etienne, H. (2023). **Global transcriptome profiling reveals differential regulatory, metabolic and hormonal networks during somatic embryogenesis in *Coffea arabica*.** *BMC Genomics*, 24(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-09098-z>
- Busconi, M., Soffritti, G., Stagnati, L., Marocco, A., Marcos Martínez, J., De Los Mozos Pascual, M., & Fernandez, J. A. (2018). **Epigenetic stability in saffron (*Crocus sativus* L.) accessions during four consecutive years of cultivation and vegetative propagation under open field conditions.** *Plant Science*, 277, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.09.005>
- Borges, S. R., Xavier, A., Oliveira, L. S. de, Melo, L. A. de, & Rosado, A. M. (2011). **enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*.** *Revista Árvore*, 35, 425–434. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300006>
- Bessou, C., Lima de Faria, M., Piazzardi, B., Figueiredo, C., Pacheco, F., Pina, J. P., & Snoeck, D. (2020). **Análise da cadeia de valor do café em Angola.** <https://agritrop.cirad.fr/597563/1/VCA4D%20Angola%20Coffee%20April%202020%20v.2.pdf>
- Bhutto, R. A., Bhutto, N. U. A. H., Khanal, S., Wang, M., Iqbal, S., Fan, Y., & Yi, J. (2024). **Potato protein as an emerging high-quality: Source, extraction, purification, properties (functional, nutritional, physicochemical, and processing), applications, and challenges using potato protein.** *Food Hydrocolloids*, 157, 110415. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110415>

- Blythe, E. K., Sibley, J. L., Tilt, K. M., & Ruter, J. M. (2007). **Methods of auxin application in cutting propagation: a review of 70 years of scientific discovery and commercial practice.** *Journal of Environmental Horticulture*, 25(3), 166–185.
<https://doi.org/10.24266/0738-2898-25.3.166>
- Bhattacharjee, S. (2005). **Reactive oxygen species and oxidative burst: roles in stress, senescence and signal transduction in plants.** *CURRENT SCIENCE*, 89(7).
- Benin, C. C., Bandeira Peres, F. S., & de Oliveira Garcia, F. A. (2013). **Enraizamento de miniestacas apicais, intermediárias e basais em clones de *Eucalyptus benthamii*.** *Floresta*, 43(3).
<https://pdfs.semanticscholar.org/3f11/b23615a5802a65e02d20cd4db494fa1f110b.pdf>
- Bhatt, B. B., & Tomar, Y. K. (2010). **Effects of IBA on rooting performance of *Citrus auriantifolia* Swingle (Kagzi-lime) in different growing conditions.** *Nat. Sci*, 8(7), 811.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=b068b257516173a1dfc0fc8e6491643171fa138>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Evangelista, S. R., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2018). **Characteristics of fermented coffee are inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods.** *LWT*, 92, 212–219.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>
- Barbosa, A. S., Pelúzio, J. M., Fidelis, R. R., Ferreira Júnior, O. J., & Santos, W. F. D. (2023). **Efeitos de reguladores vegetais nas características agronômicas de soja cultivada em baixa latitude.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(1), 1–19.
<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n1e9862>
- Bergo, C. L., & MENDES, A. N. G. (2000). **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas.**
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/492544>
- Berhanu, Y., & Dalle, G. (2022). **Impact of climate change on the spatial distribution and productivity of *coffea arabica* l. in Africa: A Review.** 17.
<https://www.researchgate.net/publication/357910809>

- Bárbaro LA, Karlanian MA, Mata DA (2014) **Importância do pH e da condutividade elétrica (CE) nos substratos para as plantas.** Ministério da agricultura, ganadería y pesca. Instituto de Floricultura, Buenos Aires, Argentina. 11p. <https://inta.gob.ar/documentos/importancia-del-ph-y-la-conductividad-electrica-ce-en-los-sustratos-para-plantas> . data da consulta: 05 de dezembro de 2020
- Campuzano-Duque, L. F., & Blair, M. W. (2022). **Strategies for robusta Coffee (*Coffea canephora*) improvement as a new crop in Colombia.** Agriculture, 12(10), Artigo 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101576>
- Carvalho, A. M., & Rodrigues, M. Â. (2019). **Estacaria de *Aloysia citrodora palau*: ensaios de enraizamento em estufa sob diferentes condições.** Revista de Ciências Agrárias, 50-58 Páginas. <https://doi.org/10.19084/RCA16167>
- Correia, C. D. N., Amraoui, M., & Santos, J. A. (2024). **Assessment of climate change in Angola and potential impacts on agriculture.** Physical Sciences. <https://doi.org/10.20944/preprints202410.1081.v1>
- Carréra, J. C., Resende, T. B., Vicente Campos, A. A., de Souza, R. R., de Oliveira, I. M. M., Alves Ribeiro, C., Gavilanes, M. L., Guimarães, R. J., & Mori, F. A. (2023). **Anatomic characteristics of branches related to the vegetative growth of Coffee tree (*Coffea arabica* L., *Rubiaceae*) under nutritional variation.** *Journal of Plant Nutrition*, 46(19), 4594–4605. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2237524>
- Chichipe Oyarce, J., Camacho, A., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Vásquez, H. V., & Silva Valqui, G. (2021). **clonal propagation of *Coffea arabica* with indole butyric acid and acclimatization conditions in Amazonas, Peru.** *International Journal of Agronomy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8590590>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., **crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato.** *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), 289–295. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802014000300016&script=sci_abstract&tlng=pt

- Colombo, L. A., Tazima, Z. H., Mazzini, R. B., Andrade, G. A., Kanayama, F. S., Baquero, J. E., Auler, P. A. M., & Roberto, S. R. (2008). **Enraizamento de estacas herbáceas da seleção 8501-1 de Goiabeira submetidas a lesão na base e a concentrações de AIB.** *Semina: Ciências Agrárias*, 29(3), 539. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n3p539>
- Da Costa, C. T., De Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Schwambach, J., Maraschin, F. D. S., & Fett-Neto, A. G. (2013). **When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings.** *Frontiers in Plant Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00133>
- Daskalakis, I., Biniari, K., Bouza, D., & Stavrakaki, M. (2017). **The effect that indolebutyric acid (IBA) and position of cane segment have on the rooting of cuttings from grapevine rootstocks and from cabernet franc (*Vitis vinifera* L.) under conditions of a hydroponic culture system.** *Scientia Horticulturae*, 227, 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.024>
- Dominghetti, A. W., Freitas, T., Silveira, H. R. D. O., & Guimarães, R. J. (2024). **Resilience to water deficit of Coffee seedlings produced through cuttings and somatic embryogenesis.** *Revista Ceres*, 71, e71051. <https://doi.org/10.1590/0034-737x2024710051>
- Du Jardin, P. (2015). **Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation.** *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Estácio de Sá, Afonso, C. G., Silva, C. P. D., Estadual de Mato Grosso do Sul, Correa, J. S., Estadual de Mato Grosso do Sul, Pistori, M. F., & Secretaria Municipal de Educação e Cultura. (2021). **Efeito do ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas herbáceas e lenhosas de serigueleira (*Spondias purpurea* L.).** *Revista Agraria Academica*, 4(4), 94–106. <https://doi.org/10.32406/v4n4/2021/94-106/agrariacad>
- El-Banna, H., Haroun, S. A., Albishi, T. S., Rashed, A. A., Albadrani, M., Abdelaal, K., Alkhateeb, O. A., & Abdou, A. H. (2023). **The natural alternatives: the impact of plant extracts on snowbush (*Breynia disticha* forst.) cuttings' morpho-physiological and biochemical characteristics.** *Horticulturae*, 9(10), 1122. <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/10/1122>

- Etienne, H., Breitler, J.-C., Bossier, J.-R., Awada, R., Laflaquière, L., Amara, I., & Georget, F. (2025). **Chapter eleven - coffee somatic embryogenesis: advances, limitations, and outlook for clonal mass propagation and genetic transformation.** Em F. M. Damatta & J. C. Ramalho (Eds.), *Advances in Botanical Research* (Vol. 114, pp. 349–388). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2024.04.008>
- Faizah, H., Fawaidah, I., Millah, N., Fadhillah, N., & Ma'arif, Muh. (2020). **Effect of various substrates in non-circulating hydroponic systems and soil media on the growth of *Gynura procumbens*.** JURNAL BIOSAINS, 6(3), 103. <https://doi.org/10.24114/jbio.v6i3.20101>
- Ferrão, R. G., Fonseca, A., Ferrão, M., Filho, A., Volpi, P., Muner, L., Lani, J., Prezotti, L., Ventura, J., Martins, D., Mauri, A., Marques, E., & Zucateli, F. (2012). **Técnicas de produção com variedades melhoradas:** Vol. 4a Edição – Revisada e Ampliada (4.^a ed.)/http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/circulartecnica-cafeconilon.pdf
- Fachinello, J. C., Hoffmann, A., & Nachtigal, J. C. (2005). **Propagação de plantas frutíferas.** EMBRAPA informação tecnológica Brasília. https://www.academia.edu/download/62132024/Propagacao_de_Plantas_Frutiferas20200218-74063-11jefgr.pdf
- Ferrão, r., Volpi, p., Senra, j. de b., Comério, m., Ferrão, m., Riva-souza, e., de Mendonça, r. f., da Fonseca, a. f. a., & Verdin filho, a. (2022). **Variabilidade de *Coffea canephora* do banco ativo de germoplasma do incaper: caracterização dos acessos com base em descritores mínimos.** <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4116>
- Foloni, L. L., Velini, E. D., Carbonari, C. A., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., & Cruz, R. A. L. (2024). **Glyphosate residues in coffee bean: impact of application methods and compliance with MRLs.** *Advances in Weed Science*, 42, e020240060. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:0006>
- Francisco. (2015). **Estratégias para melhorar a produção, comercialização e transformação do café robusta: o caso do Município do Uíge (Província do Uíge).**

- Frasca, L. L., Nascente, A. S., Lanna, A. C., Carvalho, M. C. S., & Costa, G. G. (2020). **Bioestimulantes no crescimento vegetal e desempenho agrônômico do feijão-comum de ciclo superprecoce.** *Agrarian*, 13(47), 27–41. <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8571>
- Gottstein, V., Lachenmeier, D. W., Kuballa, T., & Bunzel, M. (2024). **Fully automatic quantitation of eight different metabolites in Coffee using 1 H-NMR spectroscopy and the pulcon methodology.** *JSFA Reports*, 4(3), 163–174. <https://doi.org/10.1002/jsf2.184>
- Ginés, I. (2002). **Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo.** 9.
- Gebreselassie, H., Tesfaye, B., & Gedebo, A. (2024). **Genetic diversity of arabica Coffee genotypes in south Ethiopia using quantitative agro-morphological traits. genetic resources and crop evolution**, 71(7), 3485–3506. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01853-9>
- Huntley, B. J., Russo, V., Lages, F., & Ferrand, N. (Eds.). (2019). **Biodiversity of Angola: science & conservation: a modern synthesis.** Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03083-4>
- Husin, M., Marhaeni, L. S., & Tresniawati, C. (2022). **Effect of Rootone-F concentration on the cutting-growth of three species of coffee (*Coffea sp.*).** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 974(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012065>
- Hasanuzzaman, M., Hawrylak-Nowak, B., Islam, T., & Fujita, M. (Eds.). (2022). **Biostimulants for crop production and sustainable agriculture.** CABI. <https://doi.org/10.1079/9781789248098.0000>
- ICO (2023) **Relatório resumido do café e perspectivas dezembro 2023** Disponível em [Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf](#)
- ICO (2023). **A organização internacional do café revela os desafios enfrentados pelo setor global de café - Qahwa World**

- Keswani, C., Singh, S. P., García-Estrada, C., Mezaache-Aichour, S., Glare, T. R., Borriss, R., Rajput, V. D., Minkina, T. M., Ortiz, A., & Sansinenea, E. (2022). **Biosynthesis and beneficial effects of microbial gibberellins on crops for sustainable agriculture.** In *Journal of Applied Microbiology* (Vol. 132, Issue 3, pp. 1597–1615). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1111/jam.15348>
- Kentelky, E., Domokos, E., Szekely-Varga, Z., & Boscaiu, M. (2023). **Influence of rooting media and hormones on *Mandevilla* vegetative propagation.** 8.
- Kahsay, G. A., Turreira-García, N., Ortiz-Gonzalo, D., Georget, F., & Bosselmann, A. S. (2023). **New coffee varieties as a climate adaptation strategy: empirical evidence from Costa Rica.** *World Development Sustainability*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100046>
- Kurepin, L. V., Emery, R. J. N., Pharis, R. P., & Reid, D. M. (2007). **The interaction of light quality and irradiance with gibberellins, cytokinins and auxin in regulating growth of *Helianthus annuus* hypocotyls.** *Plant, Cell and Environment*, 30(2), 147–155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01612.x>
- Kaur, A., Kaur, K., & Kaur, A. (2018). **role of IBA and PHB on success of cuttings of fig cv. Brown Turkey.** *Asian Journal of Science and Technology*, 9(5), 8237–8241.
- Keimusya, R., Arinaitwe, B., & Osiru, D. (2024). **Effect of *Aloe vera*, wood ash, and indolebutyric acid on in-vivo macro propagation of *robusta* Coffee stem cuttings.** *International Journal of Agriculture*, 9(2), 14. <https://doi.org/10.47604/ija.2840>
- Khalid, W. K. (2022). **Study of some natural substances in rooting of two fig varieties.** 18, No. 1, pp. 183–188, 6. www.connectjournals.com/ijass DocID: <https://connectjournals.com/03899.2022.18.183>
- Kouadio, L., Tixier, P., Byrareddy, V., Marcussen, T., Mushtaq, S., Rapidel, B., & Stone, R. (2021). **Performance of a process-based model for predicting *robusta* Coffee yield at the regional scale in Vietnam.** *Ecological Modelling*, 443, 109469. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109469>

- Kumarasinghe, P. D. G. I. H., Jayawardhana, W. R. S., & Fernando, K. M. C. (2024). **Effect of epidermal mucous secretion of earthworms and other selected organic substances on rooting of semi-hardwood cuttings of *Citrus aurantifolia* and top cuttings of dracaena sanderiana.** *Tropical Agricultural Research and Extension*, 27(2), 77–86. <https://doi.org/10.4038/tare.v27i2.5700>
- Lachenmeier, D. W., Weller, P., Farah, A., Lagman, M. C. A., Fabian, M., Del Castillo, M. D., & Schwarz, S. (2024). **Shaping the future of coffee: climate resilience, liberica's rise, and by-product innovation—highlights from the international coffee convention 2023 (ICC2023).** MDPI. <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/6/832>
- Leila, P, P, Morzelle, M., Angelini, B, G, Castro, P, R, C, & Mendes, A, C, C. (2017). **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólitos microbianos na agricultura.** 63, 96.
- Li, S.-W., Xue, L., Xu, S., Feng, H., & An, L. (2009). **IBA-induced changes in antioxidant enzymes during adventitious rooting in mung bean seedlings: the role of H₂O₂.** *environmental and experimental botany*, 66(3), 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.005>
- Lima, C. C., Ohashi, S. T., & Silveira, A. S. (2018). **Efeito de diferentes concentrações de AIB e procedências geográficas no enraizamento de estacas de *paricá*.** *Ciência Florestal*, 28, 1282–1292. <https://doi.org/10.5902/1980509833380>
- Lima, A. E. de. (2021). **Técnicas inovadoras na produção de mudas de café por sementes e estacas.** Universidade Federal de Lavras.
- Liu, J., & Li, X. (2023). **Recent advances in application and progress of advanced materials as adsorbents in sample preparation for plant growth regulators.** In *Journal of Separation Science* (Vol. 46, Issue 15). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/jssc.202300066>
- Lanka, S. (2018). **Na Review on Aloe vera-the Wonder Medicinal Plat.** *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 8(5-s), 94–99. <https://doi.org/10.22270/jddt.v8i5-s.1962>
- Loconsole, D., Cristiano, G., & De Lucia, B. (2022). **Improving aerial and root quality traits of two landscaping shrubs stem cuttings by applying a commercial brown seaweed extract.** *Horticulturae*, 8(9), 806. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090806>

- Mawunu, M., Makuntima, P., Masidivinga, L., Lautenschläger, T., Luyindula, N., Ngbolua, K. N., & Lukoki, L. (2020). **First survey on the edible non-wood forest products sold in Uíge province, northern Angola.** *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(6). <https://doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.6.135>
- Mawunu, M., Julio, F., Ndiku, L., Ngbolua, K.-N., Neinhuis, C., Lautenschläger, T., Luyeye, F. L., & Timoteo, H. M. (2018). **Traditional knowledge and skills in rural bakongo communities: a case study in the Uíge Province, Angola.** 14. <http://www.aiscience.org/journal/ajesd>
- McCook, S., & Montero-Mora, A. (2024). **Coffee breeding in a time of crisis: F1 hybrids in central America since 1990.** *Plants People Planet*, 6(5), 1070–1079. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10480>
- Magesa, J., Department of crop Science and Horticulture, P.O Box 3005, Chuo Kikuu Morogoro, Tanzania., Rweyemamu, C., & Department of crop Science and Horticulture, P.O Box 3005, Chuo Kikuu Morogoro, Tanzania. (2020). **Effects of cutting position along mother plants on rooting of hybrid Coffee varieties.** *Journal of Agricultural and Crop Research*, 8(6), 113–119. https://doi.org/10.33495/jacr_v8i6.20.145
- Mofokeng, M. M., Araya, H. T., Amoo, S. O., du Plooy, C. P., & Mashela, P. W. (2021). **Ex vitro vegetative propagation technique for sustainable utilization of Hypoxis hemerocallidea corms.** *South African Journal of Botany*, 139, 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.003>
- Munyendo, L., Njoroge, D., Zhang, Y., & Hitzmann, B. (2023). **Novel method for the detection of adulterants in coffee and the determination of a Coffee's geographical origin using near infrared spectroscopy complemented by an autoencoder.** *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1284–1298. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16283>
- Muniz, F. R., Cardoso, M. das G., Von Pinho, É. V. R., & Vilela, M. (2007). **Qualidade fisiológica de sementes de Milho, Feijão, Soja e Alface na presença de extrato de Tiririca.** *Revista Brasileira de Sementes*, 29, 195–204. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200026>

- Moreira, W. L., & Almeida, R. (2021). **Development of Coffee seedlings with biostimulants.** *Coffee Science*, 16, 1–5. <https://doi.org/10.25186/v16i.1896>
- Machado, M. P., Mayer, J. L. S., Ritter, M., & Biasi, L. A. (2005). **Ácido indolbutírico no enraizamento de estacas semilenhosas do porta-enxerto de videira «VR043-43» (*Vitis vinifera* x *Vitis rotundifolia*).** *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27(3), 476–479. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300032>
- Mohammed, A. L., Kaddiri, N. K. N., & Moro, A. (2024). **Rooting and shooting of *Coffea canephora* stem cuttings in response to clonal chamber conditions and rooting hormone in Ghana.** *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 40(2), 138–150. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v40i2.597>
- Mirihagalla, M., & Fernando, K. M. C. (2020). **Effect of *Aloe vera* gel for inducing rooting of stem cuttings and air layering of plants.** <http://192.248.56.27:8080/jspui/handle/123456789/3081>
- Negrelli, Boeira, V. H. P., Andrade, C. O. D., Mateus Corniani, N. J., Mori, J. C., Polonio, J. C., & Conte, H. (2023). **Bioestimulantes e seu papel na construção de um futuro sustentável.** *Arquivos do Mudi*, 27(2), 16. <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v27i2.67840>
- Ngolo, A. O., Fernandes Filho, E. I., Ferreira, W. P. M., & Fernandes, R. B. A. (2018). **Agroclimatic zoning for coffee crop in angola.** *pesquisa agropecuária tropical*, 48, 19–28. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4850109>
- Nicknich, R., Weiser, A. H., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2013). **Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de Quaresmeira.** *Scientia Agraria*, 14(2). <https://doi.org/10.5380/rsa.v14i2.40931>
- Nzeyimana, I., Hartemink, A. E., & De Graaff, J. (2013). **Coffee farming and soil management in Rwanda.** *Outlook on Agriculture*, 42(1), 47–52. <https://doi.org/10.5367/oa.2013.0118>
- Ngure, G. M., & Watanabe, K. N. (2024). **Coffee sustainability: leveraging collaborative breeding for variety improvement.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1431849. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1431849>

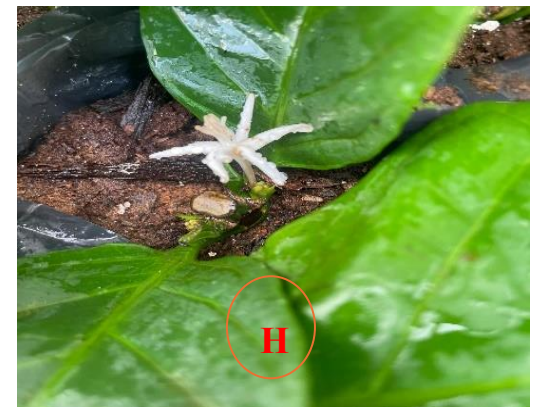
- Oliveira, V., Rodrigues, P., Buffun, S., Morais, A., Arantes, S., Tognere, J., Vial, P., Schmildt, O., & Schmildt, E. (2020). **Efeito da aplicação de ácido-indol-3-butírico (AIB) no crescimento e qualidade de mudas de *piper nigrum L.* cv. kottanadan propagadas vegetativamente.** Revista Ifes Ciência, 6(2), 139. <https://doi.org/10.36524/ric.v6i2.393>
- Okunlola, Arije. (2018). **Rooting development of sansevieria trifasciata (mother-in-law tongue) as influenced by different propagation substrates.** International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 3(3), 1044–1048. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.3.42>
- Peixoto, J. N. S., Nunes, M., Baliza, D. P., Pereira, S. P., & Rosa, B. T. (2017). **Cafeicultura familiar e as boas práticas agrícolas em bom sucesso – MG.** Coffee Science, 12(3), 365. <https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1982>
- Pereira, A. B., Aguilar, M. A. G., Sodré, G. A., Pasqual, M., & Mendes, A. N. G. (2001). **Enraizamento de estacas de *Coffea arabica L.* em estufim.** <http://sbicafe.ufv.br/handle/123456789/970>
- Pinheiro, E. M., Araujo, J. R. G., Nobre, C. P., Araújo, W. S., Ferraz Júnior, A. S. L., & Mesquita, M. L. R. (2024). **Association between cuttings maturity and alternative substrates in the rooting of *Acerola* cherry.** Brazilian Archives of Biology and Technology, 67, e24220451. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2024220451>
- Pereira, M., Oliveira, A. de, Gonalves, A. N., & Almeida, M. de. (2005). **Efeitos de substratos, valores de pH, concentraoes de AIB no enraizamento de estacas apicais de *Jaboticabeira* [Myrciaria jaboticaba (Vell.) O. Berg.].** *Scientia Forestalis*, 69, 84-92. Rep er e   <https://www.academia.edu/download/71063275/cap07.pdf>
- Paula, N. (2019, 30 décembre). **Café (Coffea L): Matéria-prima, processamento e qualidade.** *Brazilian Journal of Food Research*, p. 22. Rep er e   <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/12630>
- Paulus, D., Valmorbidia, R., Toffoli, E., & Paulus, E. (2014). **Propagaao vegetativa de *Aloysia triphylla* (L'H er.) Britton em funao da concentraao de AIB e do comprimento das estacas.** *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16, 25–31. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100004>

- Pinho, P., Lopes, F., Jacob, A. P., & grego, J. (2000). **Utilização de hormonas no enraizamento de estacas de *Myrtus communis* L.** Repositório Científico Do Instituto Politécnico de Santarém, 179–183. <http://hdl.handle.net/10400.15/147>
- Purwanto, D., Widiyanto, W., Ihsaniyati, H., Wardani, R. R. I. K., & Santosa, F. J. (2023). **Development of temanggung *robusta* Coffee: findings and evidence from central java, Indonesia.** Society, 11(1), 158–172. <https://doi.org/10.33019/society.v11i1.514>
- Rajesaheb, K. S., Subramanian, S., Boominathan, P., Thenmozhi, S., & Gnanachitra, M. (2024). **Bio-stimulant in improving crop yield and soil health. communications in soil science and plant analysis,** 1–36. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2416925>
- Resende, L. P. (2022). **Influência de bioestimulantes e reguladores de crescimento na produtividade do feijoeiro comum, trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.**
- Rúben, K., Arinaitwe, A., Osiru, B., & David, O. (2024). **Effect of aloe vera, wood ash, and indole-butyric acid on in-vivo macro propagation of *robusta* Coffee stem cuttings.** 55. <https://doi.org/10.47604/ija.2840>
- Relvas, R. M. dos S. (2023). **Análise da produtividade de diferentes clones híbridos de *Coffea canephora* em três safras consecutivas no sul do Amazonas.** <https://www.researchgate.net/profile/Rikelme-Matheus-Dos-Santos->
- Rouphael, Y., Formisano, L., Ciriello, M., Cardarelli, M. T., Luziatelli, F., Ruzzi, M., Ficca, A. G., Bonini, P., & Colla, G. (2021). **Natural biostimulants as upscale substitutes to synthetic hormones for boosting tomato yield and fruits quality.** Italus Hortus, 28(1), 88. <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2021.1.8899>
- Salinas-Ruiz, J., Ortiz-Cervantes, E., Hernández-Lara, M., Águas-Atlahua, A., & Velasco-Velasco, J. (2021). **Effect of organic substrates on the physiological development of coffee (*Coffea canephora* P.) cuttings.**
- Santos, C. M. G., Cerqueira, R. C., Fernandes, L. M. S., Dourado, F. W. N., & Ono, E. O. (2010). **Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de Pitaya.** Revista Ciência Agronômica, 41(4), 625–629. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000400016>

- Schafer, G., Souza, P. V. D. D., & Fior, C. S. (2015). **Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil**. *Ornamental Horticulture*, 21(3), 299. <https://doi.org/10.14295/oh.v21i3.735>
- Sakai, E., Barbosa, E. A. A., de Carvalho Silveira, J. M., & de Matos Pires, R. C. (2015). **Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation**. *Agricultural Water Management*, 148, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>
- Silva, A. K. V. D., Aguiar, T. D. S., Santos, M. E. C. D., Araújo, J. K. P. D., Freire, Á. D. C., Salami, G., & Araujo, P. C. D. (2022). **Vegetative propagation of *Mimosa caesalpinifolia* by mini-cuttings technique**. *Revista Árvore*, 46, e4631. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000031>
- Singh, G., Kaur, S., & Kaur, A. (2019). **Effect of IBA on rooting of hardwood cuttings of various Peach genotypes**. *Ind. J. Pure App. Biosci*, 7(4), 104–109. https://www.academia.edu/download/83359451/Gurpiar_singh_et_al_2019.pdf
- Silva Gomes, A. B., Barros, M. F., Vanderlei, R. S., Tabarelli, M., & Dodonov, P. (2024). **Plant vegetative propagation plays a considerable role in the regeneration following slash-and-burn agriculture in Caatinga dry forest**. *Acta Oecologica*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2023.103971>
- Silva, D. F. B., Morejón-García, M., Díaz-Pita, A., & de Almeida, F. M. (2020). **Agroclimatic characterization of the Uige province, Angola based on the development of robusta coffee**. 41(1), 12. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Silva, V., Cury, G., Barbosa, L. H. S., Santos, D. L. T. dos, de Souza, R. C., & Prata, A. P. do N. (2021). **Underground system of the weed *stigmaphyllon blanchetii* c. e. anderson (*Malpighiaceae*) and its vegetative propagation role. flora: morphology, distribution, functional ecology of plants**, 278. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151789>
- Simanjuntak, B. H., & Wardani, D. K. (2021). **The effect of stem segment cuttings of *robusta Coffee* (*coffea canephora*) on growth of root and leaf sprout**. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 11(1), 28–34.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). **Fisiologia e desenvolvimento Vegetal—6ed**. Artmed Editora.

- Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., & Lisjak, M. (2021). **Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food.** *Annals of Applied Biology*, 178(2), 169–191. <https://doi.org/10.1111/aab.12651>
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance.** *Climatology*, X (3).
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). **Biostimulants in plant science: A Global Perspective.** *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Vanden Abeele, S., Janssens, S. B., Asimonyio Anio, J., Bawin, Y., Depecker, J., Kambale, B., Mwangi, I., Ebele, T., Ntore, S., Stoffelen, P., & Vandeloock, F. (2021). **Genetic diversity of wild and cultivated *Coffea canephora* in northeastern DR Congo and the implications for conservation.** *American Journal of Botany*, 108(12), 2425–2434. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1769>
- Van Kollenburg, G., & van Weert, P. (2024). **Coffee, climate, community: A holistic examination of specialty Coffee supply chains in Rwanda.** *Sustainable Development*, 1–2. <https://doi.org/10.1002/sd.3000>
- Viçosi, D. B., Zandonadi, C. U., Guarçoni, R. C., Martinuzzo, M. B., Tristão, F., Krohling, A. C. A., Ferreira, C. C., Rossi, V. D. S., Paula, E. D., & Fornazier, M. J. (2023). **Importância da melhoria da qualidade do *Café arábica* para a sustentabilidade de propriedades agrícolas.** *Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural*, 13(14), 57–70. <https://doi.org/10.54682/ier.v.13e14.p57.70>
- Zamora, L. M. V., Aguila, S. R. Del, Abad, J. C. G., Torres, G. V., Correa, S. A. I., Flores, E. T., Sequeira, F. M., & Guivin, M. A. C. (2022). **Propagation of *Theobroma cacao* by rooted cuttings in mini tunnels.** *Advances in Agriculture*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1196381>
- Zhang, X., Yin, J., Ma, Y., Peng, Y., Fenton, O., Wang, W., Zhang, W., & Chen, Q. (2024). **Unlocking the potential of biostimulants derived from organic waste and by-product sources: Improving plant growth and tolerance to abiotic stresses in agriculture.** *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103571. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103571>

8. ANEXOS



Aspectos avaliados das Estacas aos 30, 60 e 90 dias (A-B) Monitoramento e avaliação da temperatura; (C-D) Estacas mortas por tratamento; (E-F) Estacas vivas e não brotadas; (G-H) Estacas com brotações lentas.



Aspectos avaliados nas Estacas durante 30, 60 e 90 dias, (I-J) Estaca com brotações ativas; (K-L) Medição do comprimento das raízes; (M-N) Medição do comprimento do caule e o diâmetro das estacas.