



Efeito de substratos agrícolas, métodos de rega e hormonas vegetais no enraizamento de estacas caulinares de oliveira (*Olea europaea* L.) e loureiro-cerejo (*Prunus laurocerasus* L.)

António Da Silva Quitunda

Dissertação submetida à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com o Instituto Superior Politécnico do Cuanza Sul

Orientado por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Professor Doutor Israel Freitas Nongando Domingos

Bragança

2026

PENSAMENTO

“Propagar vegetativamente uma planta significa aplicar o conhecimento biológico que permite a um simples fragmento regenerar-se e tornar-se um organismo completo, fiel ao material de origem.”

Schmidt e Klein, 2021

AGRADECIMENTOS

Ao entregar este trabalho, cumpre-me agradecer àqueles que de alguma forma contribuíram para a sua realização:

Em primeiro lugar, a Deus o todo-poderoso, pela vida, pelo sustento diário, saúde, respiração de graça e por permitir que eu alcançasse um dos meus objetivos enfrentando os desafios durante os anos da minha formação académica e não só.

Ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues, pela orientação, disponibilidade, incentivo, apoio e amizade, dedicados ao longo deste trabalho.

Ao Professor Doutor Israel Freitas Nongando Domingos, coorientador deste trabalho, pela sua constante dedicação e disponibilidade durante a execução deste trabalho.

À Professora Doutora Margarida Arrobas, responsável pelo laboratório de solos e subdiretora da Escola Superior Agrária de Bragança, por ter facilitado e colaborado na realização das análises de amostras de terriços e na preparação do extrato de aloé vera. Merecem também agradecimento o meu companheiro Eng. Almeida Sauimbo e a técnica Rita Diz, pelo apoio nas análises laboratoriais.

Ao Eng.º Amílcar Pimentel e ao senhor João Magalhães, pela permanente disponibilidade e pelo incansável apoio nos trabalhos realizados nas estufas durante a instalação do ensaio.

À minha mãe batalhadora Lucrécia Pedro Herculano, ao meu avô Silva Herculano, à minha tia Olímpia Rosária Quitunda, aos meus irmãos Domingos da Silva Quitunda, Pandieira Eduardo Fernando, Manuel Fernando, Hélio Braga e à minha maravilhosa noiva Juliana Pascoal, que nunca se cansaram de me apoiar e incentivar nas minhas escolhas e pelos esforços ilimitados para minha formação pessoal e profissional.

Aos meus padrinhos Joaquim Rede António e Rosa Ciali António, pelos apoios, incentivos, carinhos e por fazerem parte da minha vida.

E a todos aqueles que, apesar de não serem referenciados, duma forma ou doutra, contribuíram para que este trabalho se tornasse possível.

A todos, um sincero obrigado.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente à minha família, aos meus padrinhos, aos meus amigos e ao meu maravilhoso pai, Paulo Domingos Quitunda (em memória).

ÍNDICE GERAL

PENSAMENTO.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
DEDICATÓRIA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE QUADROS.....	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS	XX
RESUMO	XXI
ABSTRACT	XXI
INTRODUÇÃO	23
Objetivo geral.....	23
Hipóteses	24
Problema científico	24
Justificativa.....	24
I- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
1.1- Propagação de plantas.....	25
1.2- Propagação sexual ou por semente	25
1.2.1- Heterozigoticidade como problema para reprodução por semente.....	26
1.2.2- Aspetos económicos da propagação por semente	27
1.2.3- Problemas biológicos que tornam a semente impraticável ou indesejável	27
1.3- Propagação assexual ou vegetativa	28
1.3.1- Propagação vegetativa por estaquia em árvores e arbustos	28
1.3.2- Vantagens agronómicas da estaquia para árvores e arbustos.....	30
1.3.3- Produção em larga escala de mudas.....	30
1.3.4- Riscos e limitações da propagação vegetativa	30
1.4- Enraizamento de estacas lenhosas, semilenhosas, processos fisiológicos e rizogénese	31
1.4.1- Conceito de rizogénese	31

1.5- Hormonas vegetais e o enraizamento	32
1.5.1- Auxinas como principal hormona promotora de enraizamento	32
1.5.2- Outras hormonas envolvidas no processo de enraizamento	33
1.5.3- Extrato de aloé vera como estimulante natural de enraizamento de estacas.....	34
1.6- Substratos agrícolas para enraizamento de estacas	35
1.6.1- O solo como substrato agrícola.....	35
1.6.2- Características de alguns substratos para enraizamento de estacas	36
1.6.3- Substratos para enraizamento de estacas	36
1.7- Variáveis que influenciam o enraizamento	38
1.7.1- Temperatura	38
1.7.2- Humidade relativa.....	39
1.7.3- Luz	39
1.7.4- Disponibilidade de água no substrato	39
1.7.5- Oxigenação do substrato	39
1.7.6- Substrato	40
1.7.7- Particularidades das estacas lenhosas e semilenhosas	40
1.7.8- Influência do genótipo	41
1.7.9- Estado fisiológico da planta-mãe	41
1.8- Notas sobre a cultura da oliveira.....	41
1.9- Notas sobre o loureiro.....	43
II- MATERIAIS E MÉTODOS	45
2.1- Caracterização da estufa	45
2.1.1- Sistema de arrefecimento	46
2.1.2- Bancadas e acessórios	46
2.1.3- Ecrã térmico	47
2.2- Instalação do ensaio	47
2.2.1- Colheita e transporte do material vegetal de oliveira e loureiro	47

2.2.2- Preparação e desinfecção das estacas	48
2.2.3- Delineamentos experimentais e colocação das estacas na bancada de enraizamento	49
2.2.4- Temperatura e humidade ambiente e temperatura do substrato.....	52
2.2.5- Eliminação de infestantes	52
2.3- Parâmetros avaliados	54
2.4- Análise estatística.....	54
III-RESULTADOS.....	55
3.1- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira	55
3.1.1- Viabilidade geral das estacas	55
3.1.2- Crescimento da parte aérea	56
3.1.2.1- Comprimento do maior broto.....	56
3.1.2.2- Massa seca dos brotos.....	57
3.1.3- Desenvolvimento radicular	58
3.1.3.1- Número de raízes por estaca	58
3.1.3.2- Comprimento da maior raiz	59
3.1.3.3- Comprimento total de raízes	60
3.1.3.4- Massa seca das raízes.....	61
3.2- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro	62
3.2.1- Viabilidade geral das estacas	62
3.2.2- Crescimento da parte aérea	63
3.2.2.1- Comprimento do maior broto.....	63
3.2.2.2- Massa seca dos brotos.....	63
3.2.3- Desenvolvimento radicular	64
3.2.3.1- Número de raízes por estaca	64
3.2.3.2- Comprimento da maior raiz	65
3.2.3.3- Comprimento total de raízes	66

3.2.3.4- Massa seca das raízes.....	67
3.3- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em oliveira	68
3.3.1- Viabilidade geral das estacas	68
3.3.2- Crescimento da parte aérea	69
3.3.2.1- Comprimento do maior broto.....	69
3.3.2.2- Massa seca dos brotos.....	70
3.3.3- Desenvolvimento radicular	71
3.3.3.1- Número de raízes por estaca	71
3.3.3.2- Comprimento da maior raiz	71
3.3.3.3- Comprimento total de raízes	72
3.3.3.4- Massa seca das raízes.....	73
3.4- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro.....	74
3.4.1- Viabilidade geral das estacas	74
3.4.2- Crescimento da parte aérea	75
3.4.2.1- Comprimento do maior broto.....	75
3.4.2.2- Massa seca dos brotos.....	76
3.4.3- Desenvolvimento radicular	76
3.4.3.1- Número de raízes por estaca	76
3.4.3.2- Comprimento da maior raiz	77
3.4.3.3- Comprimento total de raízes	78
3.4.3.4- Massa seca das raízes.....	79
IV- DISCUSSÃO	80
4.1- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira	80
4.1.1- Substratos.....	81
4.1.1.1- Perlite	81
4.1.1.2- Areia.....	82
4.1.1.3- Areia + terriço	83

4.2- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro	84
4.2.1- Substratos	84
4.2.1.1- Perlite	84
4.2.1.2- Areia.....	85
4.2.1.3- Areia + terriço	85
4.3- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira	86
4.3.1. Rega.....	86
4.3.1.1- Nebulização.....	86
4.3.1.2- Rega manual.....	86
4.4- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro	87
4.4.1. Rega.....	87
4.4.1.1- Nebulização.....	87
4.4.1.2- Rega manual.....	88
4.5- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em oliveira	88
4.5.1- Substratos	88
4.5.1.1- Comparação perlite × areia + terriço	88
4.6- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro.....	89
4.6.1- Substratos.....	89
4.6.1.1- Comparação perlite × areia + terriço	89
4.7- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em oliveira	90
4.7.1- Hormonas.....	90
4.7.1.1- Aloé vera	90
4.7.1.2- Auxina sintética	91
4.7.1.3. Sem hormonas	91
4.8- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro.....	91
4.8.1- Hormonas.....	92
4.8.1.1- Aloé vera	92

4.8.1.2- Auxina sintética	92
4.8.1.3. Sem hormonas	92
4.9- Comparação global entre espécies utilizadas neste estudo	93
V- CONCLUSÕES	95
VI- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
VII- REFERÊNCIAS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vistas externa (esquerda) e interna (direita) da estufa.....	45
Figura 2. Vistas internas do ventilador (esquerda) e do painel húmido (direita) do sistema de arrefecimento.....	46
Figura 3. Estacas de oliveira (esquerda) e loureiro (direita) prontas a serem colocadas a enraizar nos substratos.	48
Figura 4. Visão parcial dos delineamentos experimentais com destaque para setores com nebulização (esquerda) e sem nebulização (direita).....	49
Figura 5. Operação de remoção das infestantes com pinça (esquerda) e quantidade de infestantes removida (direita).....	53
Figura 6. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de oliveira em função do tipo de substrato e do método de rega. Para cada fator (substrato ou rega) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.	55
Figura 7. Comprimento do maior broto em estacas de oliveira sob diferentes substratos e métodos de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega...	57
Figura 8. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega...	58
Figura 9. Número de raízes por estaca de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são	

significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 59

Figura 10. Comprimento da maior raiz em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 60

Figura 11. Comprimento total das raízes em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 60

Figura 12. Massa seca (MS) das raízes em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 61

Figura 13. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega. 62

Figura 14. Comprimento do maior broto em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com

diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 63

Figura 15. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 64

Figura 16. Número de raízes por estaca de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 65

Figura 17. Comprimento da maior raiz em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 66

Figura 18. Comprimento total das raízes em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 67

Figura 19. Massa seca (MS) das raízes em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro

correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega... 67

Figura 20. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona..... 68

Figura 21. Comprimento do maior broto em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 69

Figura 22. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 70

Figura 23. Número de raízes por estaca de oliveira sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 71

Figura 24. Comprimento da maior raiz (cm) em estacas de oliveira em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma

letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 72

Figura 25. Comprimento total das raízes em estacas de oliveira sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 72

Figura 26. Massa seca (MS) das raízes em estacas de oliveira em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 73

Figura 27. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de loureiro em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 74

Figura 28. Comprimento do maior broto em estacas de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem,

respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 75

Figura 29. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 76

Figura 30. Número de raízes por estaca de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 77

Figura 31. Comprimento da maior raiz em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 78

Figura 32. Comprimento total das raízes em estacas de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona. 78

Figura 33. Massa seca (MS) das raízes em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma

letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona..... 79

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Resultados da análise laboratorial das propriedades físico-químicas do terriço utilizado como componente do substrato experimental (média±desvio padrão, n=2), incluindo macro e micronutrientes, relação carbono (C)/azoto (N), condutividade elétrica, pH e humidade.	50
Quadro 2. Efeito separado de substratos e rega sem considerar a interação na percentagem de estacas brotadas, vivas sem broto e mortas.	56

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Significados	Páginas
ABA	Ácido abscísico	25
AIA	Ácido indolacético	23
AIB	Ácido indolbutírico	23
ANA	Ácido naftalenoacético	23
C/N	Relação carbono, azoto	24
cm	Centímetro	38
ESA	Escola Superior Agrária	37
g hl ⁻¹	Gramas por hectolitro	41
IPB	Instituto Politécnico de Bragança	37
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera	37
kcal h ⁻¹	Quilocaloria por hora	39
kgf cm ⁻²	Quilograma-força por centímetro quadrado	39
L	Litro	42
m	Metro	38
m ²	Metro quadrado	37
ml	Mililitro	42
MS	Massa seca	53
°C	Grau Celsius	43
p/p	Peso por peso ou massa por massa	41
pH	Potencial de hidrogénio	27
Pi	Probabilidade da interação substrato × rega	46
Pr	Probabilidade da rega	46
Ps	Probabilidade do substrato	46
Tukey HSD	Diferença Honestamente Significativa	46
V	Volt	39

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes substratos agrícolas, métodos de rega e hormonas vegetais no enraizamento de estacas caulinares de oliveira (*Olea europaea* L.) e loureiro-cerejo (*Prunus laurocerasus* L.). Para o efeito, foram conduzidos quatro ensaios independentes. Nos ensaios 1 e 2, avaliou-se a influência de três substratos agrícolas (perlite, areia e areia+terriço) associados a dois métodos de rega (manual e nebulização) em oliveira e loureiro, respetivamente. Nos ensaios 3 e 4, analisou-se o efeito dos substratos e da aplicação de hormonas vegetais (auxina sintética, extrato de aloé vera (*Aloe vera* L.) e ausência de hormona ou testemunha) nas mesmas espécies. Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre as espécies estudadas. A oliveira apresentou elevada sobrevivência, maior percentagem de brotação e melhor desenvolvimento radicular, demonstrando maior adaptação às condições experimentais. Em contrapartida, o loureiro apresentou elevada mortalidade, reduzida brotação e limitado desenvolvimento radicular, revelando maior sensibilidade aos tratamentos aplicados. No ensaio 1, verificou-se efeito significativo dos substratos e métodos de rega em vários parâmetros da oliveira. A nebulização destacou-se como o método mais eficiente, promovendo maior brotação e menor mortalidade. Observou-se ainda interação significativa entre substrato e rega, sobretudo na mistura areia+terriço, que apresentou elevada brotação sob nebulização e baixa viabilidade sob rega manual. A areia apresentou comportamento mais estável entre os regimes hídricos, refletindo melhor drenagem e menor sensibilidade à saturação. Relativamente ao crescimento vegetativo, a mistura areia+terriço favoreceu o alongamento dos brotos, enquanto a perlite se destacou no desenvolvimento radicular devido ao elevado arejamento. No loureiro, apesar de algumas diferenças significativas entre tratamentos, os resultados indicaram limitações fisiológicas da espécie nas condições avaliadas. De forma geral, a rega manual apresentou melhores resultados relativamente à nebulização. Nos ensaios 3 e 4, os substratos influenciaram significativamente o desenvolvimento das estacas, sobretudo na oliveira. A perlite favoreceu principalmente o desenvolvimento radicular, enquanto a mistura areia+terriço promoveu maior crescimento vegetativo. Relativamente às hormonas vegetais, a auxina sintética promoveu melhorias significativas no enraizamento e na biomassa vegetal, confirmando o seu papel na indução da rizogénese. O extrato de aloé vera apresentou efeitos positivos na brotação, crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular, demonstrando potencial como alternativa natural às hormonas sintéticas. No loureiro, os tratamentos hormonais apresentaram resposta menos notória, reforçando a maior dificuldade da espécie em responder à propagação por estacas nas condições testadas. De forma geral, os resultados confirmam que o sucesso do enraizamento depende da interação entre fatores físicos, ambientais, hormonais e genéticos.

Palavras-chave: Propagação vegetativa; estacas caulinares; rizogénese; substratos agrícolas; nebulização; auxinas; aloé vera; oliveira; loureiro ornamental.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of different agricultural substrates, irrigation methods, and plant hormones on the rooting of stem cuttings of olive tree (*Olea europaea* L.) and ornamental cherry laurel (*Prunus laurocerasus* L.). For this purpose, four independent experiments were conducted. In experiments 1 and 2, the influence of three agricultural substrates (perlite, sand, and sand + forest duff) and two irrigation methods (manual irrigation and misting) was evaluated, in olive and cherry laurel, respectively. In experiments 3 and 4, the effect of the substrates and the application of plant hormones [synthetic auxin, aloe vera (*Aloe vera* L.) extract, and absence of hormone/control] was analyzed in the same species. The results revealed significant differences between the studied species. The olive tree showed high survival, greater sprouting percentage, and better root development, demonstrating greater adaptation to the experimental conditions. In contrast, the cherry laurel showed high mortality, reduced sprouting, and limited root development, revealing greater sensitivity to the applied treatments. In experiment 1, significant effects of substrates and irrigation methods were observed on several olive tree parameters. Misting proved to be the most efficient method, promoting greater sprouting and lower mortality. A significant interaction between substrate and irrigation was also observed, especially in the sand + forest duff, which showed high sprouting under misting and low viability under manual irrigation. Sand showed more stable behavior under different water regimes, reflecting better drainage and lower sensitivity to saturation. Regarding vegetative growth, the sand + forest duff favored shoot elongation, while perlite stood out for root development due to its high aeration capacity. In cherry laurel, despite some significant differences among treatments, the results indicated physiological limitations of the species under the evaluated conditions. In general, manual irrigation produced better results than misting. In experiments 3 and 4, the substrates significantly influenced cutting development, particularly in the olive tree. Perlite mainly favored root development, whereas the sand + forest duff promoted greater vegetative growth. Regarding plant hormones, synthetic auxin significantly improved rooting and plant biomass, confirming its role in rhizogenesis induction. Aloe vera extract showed positive effects on sprouting, vegetative growth, and root development, demonstrating potential as a natural alternative to synthetic hormones. In cherry laurel, hormonal treatments produced less pronounced responses, reinforcing the greater difficulty of this species in responding to propagation by cuttings under the tested conditions. Overall, the results confirm that rooting success depends on the interaction between physical, environmental, hormonal, and genetic factors.

Keywords: Vegetative propagation; stem cuttings; rhizogenesis; agricultural substrates; misting; auxins; aloe vera; olive tree; ornamental cherry laurel.

INTRODUÇÃO

A propagação vegetativa constitui uma técnica de reprodução clonal amplamente adotada na produção de espécies lenhosas, pois permite a multiplicação de genótipos com características agronómicas superiores e assegura uniformidade fenotípica, fator crítico para a produção comercial de mudas de qualidade (Salih- Hussein et al., 2025). O enraizamento de estacas caulinares é um dos métodos mais utilizados em viveiros de multiplicação vegetativa, especialmente em espécies de germinação dificultada ou em cultivares cuja reprodução por sementes não mantém de forma confiável os caracteres desejáveis, tais como vigor, arquitetura da planta e produtividade (Silva e Pasqual, 2019).

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma cultura de elevado valor económico e social, particularmente no Mediterrâneo, cuja propagação vegetativa por estacas apresenta desafios técnicos devido à sua natureza difícil de enraizar e à forte influência de fatores genéticos e fenológicos sobre a resposta rizogénica (Barranco et al., 2017). De forma semelhante, o loureiro-cerejo (*Prunus laurocerasus* L.), amplamente utilizado em paisagismo e jardinagem, apresenta dificuldades na propagação clonal associadas à elevada lignificação dos tecidos, à atividade cambial reduzida em determinadas épocas do ano e à resposta variável às auxinas exógenas. Estas limitações tornam necessária a otimização das técnicas de estaquia, considerando simultaneamente fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, de modo a garantir eficiência e uniformidade no processo de produção de mudas (Pollio et al., 2021).

Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes substratos agrícolas, métodos de rega e hormonas vegetais no enraizamento de estacas caulinares de oliveira e de loureiro-cerejo.

Objetivos específicos

Identificar substratos agrícolas adequados para o enraizamento de estacas das duas espécies.

Analisar o impacto de diferentes métodos de rega na taxa de sobrevivência e no desenvolvimento radicular.

Avaliar o efeito de diferentes hormonas vegetais no estímulo da rizogénese.

Comparar o comportamento fisiológico de oliveira e de loureiro-cerejo sob as mesmas condições de propagação.

Hipóteses

Substratos agrícolas mais económicos podem dar resultados equivalentes à perlite.

Rega manual pode substituir nebulização sem perdas de enraizamento apreciáveis.

Extrato de aloé vera pode substituir hormonas sintéticas em programas de enraizamento de estacas caulinares.

Estacas de oliveira e loureiro loureiro-cerejo apresentam respostas distintas quando submetidas às mesmas condições de enraizamento.

Problema científico

A expansão de olivais e a crescente utilização do loureiro-cerejo exigem sistemas de produção de mudas mais eficientes e uniformes. Contudo, a variabilidade na resposta ao enraizamento de estacas caulinares, associada à escolha inadequada de substratos, métodos de rega e hormonas vegetais, continua a representar um entrave técnico significativo. A ausência de informação integrada sobre o efeito desses fatores no enraizamento de oliveira e loureiro impede a padronização de protocolos de viveiro e compromete a eficiência da propagação vegetativa dessas espécies.

Justificativa

Para a oliveira, dada a crescente expansão de pomares de alta densidade e a procura por materiais vegetativos com características uniformes, a utilização de estacas com boa capacidade de enraizamento assume especial relevo. Por outro lado, o loureiro, de interesse ornamental, exige otimização dos protocolos de enraizamento, uma vez que a propagação via estaquia pode revelar-se mais lenta ou difícil.

Investigar o efeito combinado de diferentes substratos agrícolas, diferentes regimes de rega e o uso de hormonas vegetais como ácido indol-3-butírico (AIB) e extrato de aloé vera no enraizamento de estacas caulinares destas duas espécies lenhosas é de grande importância científica e prática.

Deste modo, o estudo do efeito destes fatores no enraizamento de estacas caulinares de oliveira e loureiro-cerejo torna-se fundamental para otimizar protocolos de produção e melhorar a eficiência da propagação vegetativa destas espécies.

I- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1- Propagação de plantas

A propagação de plantas compreende o processo de multiplicação de indivíduos por meio de vias sexuais e/ou assexuais, sendo um dos pilares fundamentais na produção agrícola moderna, pois permite tanto a diversificação genética quanto a produção eficiente e uniforme de materiais (Jain et al., 2025).

O sucesso da propagação requer conhecimentos relacionados ao material vegetal, ao ambiente e também à manipulação química de substâncias, além da habilidade técnica que somente é adquirida com a prática (Peixoto, 2017).

A propagação sexual, por meio de sementes, envolve a combinação de material genético, frequentemente de duas plantas da mesma espécie, resultando em descendentes geneticamente distintos e, em muitos casos, superiores em vigor, o que é essencial para programas de melhoramento e adaptação a diferentes ambientes (Salih- Hussein et al., 2025).

Por outro lado, métodos de propagação assexuada ou vegetativa, incluindo estaquia, enxertia, alporquia e micropropagação, são amplamente utilizados para manter características desejáveis da planta-mãe, acelerar a produção de mudas e garantir uniformidade fenotípica, especialmente em cultivares com valor agronômico elevado (Jain et al., 2025). A eficácia desses métodos depende de fatores fisiológicos da planta, condições ambientais e manejo técnico adequado, destacando-se a necessidade de conhecimento especializado para otimizar taxas de enraizamento e estabelecimento das mudas (Hartmann et al., 2011).

1.2- Propagação sexual ou por semente

A propagação por semente envolve a formação de um novo indivíduo através da recombinação genética na reprodução sexuada, que ocorre durante a meiose e a fecundação, proporcionando variabilidade genética essencial para adaptação a diferentes ambientes e para o melhoramento de cultivares (Ferreira et al., 2020).

A semente transporta o embrião e reservas nutritivas que sustentam o desenvolvimento inicial da plântula, cuja germinação é um processo complexo influenciado por fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, incluindo água, oxigênio e temperatura (Vasconcelos et al., 2016).

Estudos recentes destacam que a germinação depende da transição fisiológica da semente dormente para metabolização ativa, envolvendo regulação hormonal e respostas ambientais que afetam a liberação da dormência e a protrusão da radícula (Farooq, 2021). Embora a multiplicação por sementes seja uma técnica de baixo custo e de grande importância para a diversidade genética, a variabilidade fenotípica resultante pode ser indesejável em espécies perenes de alto valor comercial, motivando o uso de métodos vegetativos para obter material uniforme (Hartmann et al., 2011; Verhoeven et al., 2024).

1.2.1- Heterozigoticidade como problema para reprodução por semente

Muitos cultivares comerciais de árvores e arbustos apresentam elevado grau de heterozigoticidade, sendo frequentemente híbridos resultantes de cruzamentos dirigidos que combinam caracteres agronômicos desejáveis, como vigor heterótico, tolerância a stresses bióticos e abióticos e qualidade dos frutos (García-Gómez et al., 2021).

Quando um genótipo heterozigoto é multiplicado por semente, ocorre segregação mendeliana durante a meiose, na qual os alelos são recombinados e distribuídos de forma independente nos gametas, originando sementes que dão origem a indivíduos geneticamente distintos da planta-mãe. Como consequência, a prole apresenta elevada variabilidade genética e fenotípica, comprometendo a uniformidade e a previsibilidade de desempenho agronômico, o que constitui uma limitação significativa da propagação sexuada em espécies perenes de elevado valor comercial (Hartmann et al., 2022).

Hartmann et al. (2022) refere ainda diversas outras consequências práticas da propagação por semente, designadamente:

- i) a perda de caracteres desejáveis, em que os traços complexos (produtividade, sabor, porte) podem recombinar-se de forma desfavorável, uma vez que nem todas as sementes herdarão a combinação ótima de alelos presente no progenitor híbrido;
- ii) a quebra do vigor híbrido (heterose), em que os híbridos heterozigotos podem exibir vigor que se perde nas gerações seguintes por segregação e recessividade de alelos desfavoráveis; e
- iii) a variabilidade no pomar, em que plantas com crescimento e época de produção diferentes dificultam colheita mecanizada, comercialização e gestão agronômica (fertilização, poda, proteção fitossanitária).

1.2.2- Aspectos económicos da propagação por semente

À primeira vista, a semente parece mais barata e simples, fácil de armazenar, transportar e semear. Porém, segundo Salinas et al. (2023), para culturas comerciais de árvores e arbustos, o custo total deve considerar o tempo até à produção comercial, uma vez que muitas espécies têm um longo período juvenil.

Estacas de material adulto podem reduzir o tempo até à frutificação, acelerando o retorno económico, enquanto plantas de semente muitas vezes demoram mais anos até iniciarem produção. Por outro lado, os custos de gestão de variabilidade de plantas heterogêneas exigem manejo diferenciado por parcela, aumentam perdas por inapetência de mercado e reduzem eficiência de colheita (Taiz et al., 2017).

Salinas et al. (2023) destacam também o valor do produto final e o risco fitossanitário como critérios de seleção no uso de sementes como método de propagação. Para cultivares de alto valor (videiras, macieiras, oliveiras, citrinos e muitas ornamentais), a qualidade uniforme justifica custos maiores de produção de mudas clonais. O risco fitossanitário pode ser um problema para a multiplicação vegetativa e normalmente existem protocolos de certificação de material vegetativo que asseguram plantas livres de vírus, por isso, são muitas vezes preferíveis à aleatoriedade genética das sementes.

Em concordância, Avanzato et al. (2024) consideram que o custo aparente mais baixo das sementes pode ser anulado por perdas de rendimento, qualidade e tempo até à colheita.

1.2.3- Problemas biológicos que tornam a semente impraticável ou indesejável

Segundo Meena et al. (2025), além da heterozigoticidade, há várias razões biológicas pelas quais a propagação por semente não é adequada para muitas espécies, pois a incompatibilidade sexual e esterilidade fazem com que algumas espécies ou cultivares sejam auto-incompatíveis ou estéreis (por exemplo, muitos híbridos triploides com frutas sem sementes), impedindo ou dificultando a produção de sementes viáveis.

A perda de caracteres clonais, características associadas a combinações específicas de genes (ex.: aroma, firmeza), não se mantém nas sementes (Meena et al., 2025). Hartman (2022), acresce que os altos níveis de variabilidade fenotípica nas plantas, quando se usa semente como

método de propagação, inviabilizam o cultivo do ponto de vista económico para culturas em que a uniformidade é mandatória, como plantas ornamentais com forma e cor específicas e diversas fruteiras.

1.3- Propagação assexual ou vegetativa

A propagação vegetativa de qualidade garante a manutenção das características genéticas da planta-mãe, além de garantir que as mudas apresentem qualidade sanitária e fisiológica. Uma das vantagens de se utilizar essa técnica é a facilidade de produzir enorme volume de mudas com o mesmo material genético, possibilitando a padronização (Moura, 2022).

De acordo com Silva e Pasqual (2019), a propagação vegetativa utiliza partes da planta como caules, folhas, raízes e gemas, produzindo indivíduos geneticamente idênticos ao genótipo original, ou seja, clones. Ela pode ser conseguida a partir das seguintes técnicas:

- i) alporquia e mergulhia, são técnicas usadas principalmente em fruteiras lenhosas, pois estimula a emissão de raízes num ramo ainda preso à planta-mãe, enquanto a mergulhia consiste em enterrar parte de um ramo ainda ligado à planta para promover enraizamento;
- ii) enxertia, combina duas plantas, o porta-enxerto (responsável pela raiz da planta enxertada) e o garfo (responsável pela parte aérea), permitindo melhorar o vigor, a tolerância a stresses bióticos e abióticos, além de uniformizar pomares;
- iii) cultura de tecidos ou micropropagação, é uma técnica moderna baseada em condições assépticas e reguladores de crescimento para multiplicação rápida e em larga escala, permitindo a produção de plantas livres de doenças por controlo total do ambiente e conservação de germoplasma; e
- iv) estaquia, é um dos métodos mais usados, envolvendo o enraizamento de porções de ramas, caules ou folhas, sendo que a formação de raízes adventícias depende de características anatómicas, nível de lignificação e balanço hormonal, sobretudo das auxinas.

1.3.1- Propagação vegetativa por estaquia em árvores e arbustos

A célula vegetal é a unidade básica das plantas, caracterizada por possuir parede celular, cloroplastos e um vacúolo central, que lhe permitem realizar fotossíntese, armazenar substâncias e manter a forma e a sustentação (Cargnelutti, 2021).

Antes de apresentar as razões que fundamentam a multiplicação vegetativa por estacas, sobretudo em árvores e arbustos, considerando a problemática da heterozigoticidade associada à multiplicação por sementes, a qual, apesar de ser um método mais simples e economicamente acessível, pode resultar em elevada variabilidade genética, torna-se imprescindível destacar o processo de divisão celular, que ocorre essencialmente sob duas formas distintas, a mitose e a meiose.

A mitose é o processo de divisão celular que gera duas células filhas geneticamente idênticas à célula-mãe (exceto por mutações), mantendo o número de cromossomas. É usada para crescimento, substituição celular e regeneração em organismos multicelulares, bem como para reprodução assexuada em alguns protistas, alguns animais e plantas (Alberts et al., 2017).

A meiose é um processo de divisão celular que reduz o número de cromossomas a metade, produzindo quatro células-filhas haploides a partir de uma célula diploide. A meiose é essencial para a formação de gâmetas (masculinos e femininos) e para gerar variabilidade genética através de recombinação genética e segregação independente dos cromossomas homólogos (Campbell e Reece, 2015).

A variabilidade genética produzida durante a meiose decorre de recombinação genética “crossing-over” entre cromossomas homólogos e da segregação independente destes cromossomas durante a primeira divisão, promovendo novas combinações alélicas entre as células-filhas (Hofstatter et al., 2021).

A multiplicação vegetativa por estacas produz clones, ou seja, plantas geneticamente idênticas à planta-mãe, o que garante uniformidade de características agronómicas (tamanho, porte, época de floração e frutificação, qualidade do fruto, resistência conhecida a pragas e doenças) num pomar ou viveiro (Barbosa, 2024).

Em fruticultura e paisagismo, essa uniformidade é muitas vezes um requisito económico e técnico. Mercados e processos industriais exigem frutos ou pés com características previsíveis (Hartmann et al., 2011). Pela semente, essa uniformidade não é garantida porque a meiose gera segregação de alelos e combinações que variam de uma semente para outra (Acquaah, 2012).

1.3.2- Vantagens agronômicas da estaquia para árvores e arbustos

A estaquia apresenta várias vantagens agronômicas específicas em comparação com outros métodos de propagação vegetativa de plantas arbóreas e arbustivas. De acordo com Poonam et al. (2024) e Silva et al. (2025), ela permite:

- i) a preservação de genótipos superiores, uma vez que a clonagem por estaquia mantém caracteres desejáveis de plantas-matriz (por exemplo, qualidade de fruto e vigor) sem segregação genética, promovendo uniformidade no desempenho agronômico;
- ii) assegurar a manutenção de combinações específicas de traços quantitativos que não se segregariam fielmente por sementes, garantindo que características poligénicas favoráveis sejam transmitidas integralmente;
- iii) oferecer facilidade técnica e escalabilidade, uma vez que técnicas de enraizamento de estacas (lenhosas, semilenhosas ou herbáceas) são rotineiras em viveiros comerciais com o uso de hormonas como o AIB em substratos adequados para obter enraizamento eficaz e produção de mudas em grande escala; e
- iv) flexibilidade fitotécnica quando combinada com métodos complementares como a enxertia, permitindo o controle da altura da planta, resistência ao solo e adaptação edafoclimática, algo mais difícil de alcançar com propagação por sementes quando se busca uniformidade e produtividade no pomar.

1.3.3- Produção em larga escala de mudas

As estacas são compatíveis com técnicas de viveiro e com opções como enraizamento em ambiente controlado, estimulantes enraizadores (auxinas), misturas de substratos e microclima que aumentam o sucesso de produção em série. A micropropagação *in vitro* pode complementar a estaquia quando se quer multiplicar um grande número de clones livres de vírus. Assim, embora exigindo investimento inicial maior do que semear, a propagação vegetativa oferece maior previsibilidade e escalabilidade para material clonal de alto valor (Rasul et al., 2025).

1.3.4- Riscos e limitações da propagação vegetativa

Salinas et al. (2023) destacam que a propagação vegetativa, embora seja vantajosa em muitos aspetos, apresenta riscos que justificam medidas de gestão, designadamente:

- i) a transmissão de doenças sistêmicas, como vírus, fitoplasmas e outros patógenos, que podem ser transmitidos por estacas, tornando indispensável a sua mitigação com programas de certificação, seleção de material original, testes e micropropagação;
- ii) o acúmulo de mutações somáticas, em que, com o tempo, os clones podem acumular mutações ou viroses que afetam o desempenho, obrigando os viveiristas a usar material-mãe controlado e fazer rotatividade de matrizes; e
- iii) a redução da diversidade genética, em que o uso extensivo de clones reduz a variabilidade da cultura, o que pode aumentar o risco de epidemias, exigindo que sejam implementados programas de melhoramento e conservação genética.

1.4- Enraizamento de estacas lenhosas, semilenhosas, processos fisiológicos e rizogénese

A propagação vegetativa por estacas lenhosas e semilenhosas depende da capacidade dos tecidos de formar raízes adventícias (rizogénese), processo regulado por fatores endógenos, como auxinas, reservas nutricionais, idade do tecido e genótipo, e por fatores exógenos, incluindo temperatura, luz, humidade e aplicação de reguladores de crescimento. A integração desses sinais endógenos e ambientais é crucial para o sucesso do enraizamento e para a produção eficiente de mudas clonais de espécies arbóreas e arbustivas (Roussos, 2023).

1.4.1- Conceito de rizogénese

A rizogénese consiste na formação de raízes adventícias a partir de tecidos não radiculares, isto é, tecidos que originalmente não estão programados para gerar raízes. Esse processo ocorre normalmente a partir de tecidos como floema, câmbio vascular, parênquima e, em alguns casos, da região subepidérmica (Diaz-Sala, 2021).

Segundo Hartmann et al. (2014), a formação de raízes adventícias ocorre em duas grandes fases. A fase de indução, em que os processos bioquímicos iniciais que levam à desdiferenciação celular e ativação de vias embriogénicas ou meristemáticas. Durante a indução, as células parenquimatosas próximas ao câmbio sofrem desdiferenciação, readquirindo estado meristemático. Este processo exige reprogramação genética e ativação de vias metabólicas específicas.

As auxinas, sobretudo o ácido indolacético (AIA) e as sintéticas, como o AIB e o ácido naftalenoacético (ANA), são essenciais na indução da rizogénese. As auxinas acumulam-se

naturalmente na base da estaca após o corte, mas a sua concentração pode não ser suficiente, principalmente em estacas lenhosas, justificando o uso de reguladores. A fase de expressão é aquela em que ocorre o desenvolvimento e crescimento visível das raízes através dos tecidos da estaca (Afonso, 2021).

As altas relações auxina/citocinina favorecem a formação de raízes, enquanto relações baixas favorecem brotações. Após a indução, as células meristemáticas formam primórdios radiculares que se organizam estruturalmente como um novo sistema radicular. O primórdio radicular pode originar-se a partir do câmbio vascular, do parênquima do floema e do parênquima medular, sendo mais comum em estacas semilenhosas (Oliveira, 2008).

O desenvolvimento das raízes é altamente dependente de hidratos de carbono de reserva, sendo que as estacas lenhosas e semilenhosas possuem mais reservas de hidratos de carbono que são fundamentais como fonte de energia para a divisão celular e síntese de novo tecido radicular. O desenvolvimento das raízes depende também do estado fisiológico da planta-mãe, sendo que as plantas fisiologicamente equilibradas, bem nutridas e com boa relação carbono/azoto apresentam melhor potencial de enraizamento (Leakey, 2014).

1.5- Hormonas vegetais e o enraizamento

As hormonas vegetais, ou fitohormonas, são compostos orgânicos sintetizados em pequenas quantidades pelas plantas e capazes de regular processos fisiológicos fundamentais, como crescimento, diferenciação celular, formação de órgãos e respostas ao ambiente. Entre as várias classes de hormonas vegetais, como auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e ácido abscísico, as auxinas são as mais diretamente envolvidas no enraizamento de estacas (Moller e Murphy, 2017).

1.5.1- Auxinas como principal hormona promotora de enraizamento

As auxinas regulam uma ampla gama de processos fisiológicos, mas seu papel mais crítico na propagação vegetativa é a indução e promoção das raízes adventícias, sendo, portanto, essenciais na rizogénese e no sucesso do enraizamento de estacas em espécies arbóreas e arbustivas (Diaz-Sala, 2021).

Conforme Aguiar (2020), no enraizamento, as auxinas apresentam funções fisiológicas como a indução da dediferenciação e posterior divisão celular na zona basal da estaca. Ativam vias metabólicas que controlam a formação dos primórdios radiculares, promovem a síntese de

proteínas ligadas ao citoesqueleto e reorganização de tecidos, aumentam a plasticidade da parede celular através da ativação de proteínas expansinas e estimulam o transporte de hidratos de carbono para a base da estaca, fornecendo energia para o novo tecido radicular.

Existem auxinas produzidas naturalmente pela planta e auxinas sintéticas aplicadas externamente. A principal auxina natural é o AIA. Esta degrada-se facilmente pela luz, oxigénio e enzimas oxidativas, o que reduz a sua eficácia no enraizamento de estacas lenhosas e semilenhosas. As auxinas sintéticas são mais estáveis e mais eficazes na indução da rizogénese, sendo as principais o AIB o ANA (Taiz et al., 2017).

Entre as auxinas sintéticas, o AIB é amplamente reconhecido como a auxina mais eficiente e universalmente utilizada na propagação por estacas, pois, comparado ao AIA, o AIB, apresenta maior estabilidade química e não se degrada rapidamente à luz (Hartmann et al., 2014).

O AIB apresenta menor taxa de oxidação enzimática, um efeito consistente em várias espécies, elevada capacidade de estimular a formação de raízes mesmo em espécies difíceis de enraizar e não interfere negativamente no alongamento da parte aérea. Por isso, é recomendado para estacas lenhosas e semilenhosas de espécies frutíferas, culturas florestais e arbustos ornamentais (Giathi, 2017).

O AIB atua diretamente na fase de indução da rizogénese, facilitando a formação de meristemas radiculares e acelerando a emergência das raízes adventícias (Aguiar, 2020).

1.5.2- Outras hormonas envolvidas no processo de enraizamento

Taiz et al. (2017) afirmam que, embora as auxinas sejam as principais responsáveis pelo enraizamento, outras hormonas exercem papéis complementares, tais como:

- i) as citocininas, favorecem a divisão celular acima da base da estaca, sendo que, em excesso, inibem o enraizamento, pois favorecem a brotação, devendo a concentração ser baixa em relação às auxinas;
- ii) as giberelinas, estimulam o alongamento de caules, inibindo o enraizamento ao desviarem recursos para o crescimento aéreo;
- iii) o etileno, pode promover o enraizamento em concentrações baixas, mas inibe-o em concentrações elevadas; e

- iv) o ácido abscísico (ABA), reduz a transpiração e protege contra stress hídrico, podendo também ter efeito positivo em estacas sensíveis ao murchamento.

1.5.3- Extrato de aloé vera como estimulante natural de enraizamento de estacas

Aloé vera, pertencente à família Asphodelaceae. É uma planta suculenta perene, originária do norte de África e amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Filho, 2022). Apresenta folhas carnosas, dispostas em roseta, com margens serrilhadas e espinhosas, contendo no seu interior um gel mucilaginoso transparente rico em compostos bioativos (Surjushe et al., 2020).

Segundo Laxmipriya (2021), há um crescente interesse por alternativas naturais aos reguladores sintéticos, sobretudo em sistemas agrícolas sustentáveis. Entre estes bioestimulantes, extratos de aloé vera destacam-se como promotores naturais de enraizamento, devido à presença de aminoácidos, polissacarídeos bioativos, vitaminas (A, C, E, B1), minerais (cálcio, magnésio e fósforo), compostos fenólicos e hormonas naturais de crescimento.

Estudos feitos por Ahmed e Hafiz (2018) mostraram que aloé vera aumenta a retenção de água na estaca, reduz danos oxidativos, estimula atividade meristemática, favorece a divisão celular e contém quantidades de auxinas naturais e giberelinas.

Embora os extratos de aloé vera não substituam completamente o AIB em espécies difíceis, é uma alternativa válida e eficaz para espécies de fácil a moderado enraizamento, especialmente em sistemas orgânicos (Kumar et al., 2022).

Godlewska et al. (2021) afirmam que o gel de aloé vera é constituído por polissacarídeos, aminoácidos, enzimas, vitaminas (A, C, E, B1, B2, B6, B12), minerais (Ca, Mg, Zn, Mn), fenóis e fitohormonas naturais, especialmente auxinas que exercem efeito estimulante sobre o crescimento vegetal e o enraizamento de estacas.

Além de uso medicinal e em cosmética, o extrato de aloé vera tem sido estudado como bioestimulante natural na agricultura, promovendo aumento da germinação, crescimento radicular, tolerância a stresses abióticos e melhor desenvolvimento vegetativo. O seu uso como alternativa às hormonas sintéticas de enraizamento, como o AIB, vem ganhando destaque em práticas agroecológicas e de propagação sustentável de plantas lenhosas (Godlewska et al., 2021).

1.6- Substratos agrícolas para enraizamento de estacas

Os substratos agrícolas são materiais sólidos, naturais ou processados, que proporcionam suporte físico, retenção de água, arejamento e disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento de plantas cultivadas em recipientes ou sistemas de propagação. O substrato deve proporcionar um ambiente químico e físico favorável ao crescimento radicular, especialmente em processos como a propagação vegetativa por estacas, onde a formação de raízes adventícias depende diretamente das condições do meio (Kester et al., 2014).

1.6.1- O solo como substrato agrícola

Um solo forma-se do intemperismo de uma rocha, que por sua vez é composta por muitos elementos minerais, os quais vão proporcionar características variáveis ao solo. Desde o momento da sua formação, o solo vai se alterando naturalmente pela ação da chuva e da temperatura, modificando suas propriedades químicas e físicas (Domingos, 2021).

O Homem aprendeu a usar o solo, melhorando as suas propriedades, tornando-o mais produtivo. De maneira direta, o solo é responsável por seis funções essenciais para a vida humana na Terra, sendo meio para crescimento de plantas, suprimento e purificação de água à natureza, suporte para obras de engenharia, habitat para microrganismos, modificador da atmosfera e ambiente para reciclagem de nutrientes e resíduos em geral (Kölln, 2016).

Num sentido mais estrito, o solo pode ser entendido como “material não consolidado, mineral ou orgânico, existente à superfície da Terra e que serve de meio natural para o crescimento das plantas” (Sampaio, 2011). Historicamente, o solo (terra) foi o principal substrato utilizado na produção agrícola e na propagação de plantas, desempenhando funções físicas, químicas e biológicas essenciais ao desenvolvimento vegetal, à ciclagem de nutrientes e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Faustino, 2023).

O solo é composto por uma mistura de matéria mineral (areia, limo, argila), matéria orgânica, ar, água e organismos vivos. A sua estrutura determina propriedades essenciais, como o arejamento (espaços porosos para difusão de oxigênio), retenção de água, capacidade tampão (pH e nutrientes), drenagem e disponibilidade de nutrientes (Lal, 2020).

O solo, apesar de sua importância histórica e funcional, apresenta limitações significativas para o enraizamento de estacas, incluindo compactação, que reduz a oxigenação radicular, presença de patógenos edáficos, elevada variabilidade física e química entre lotes,

drenagem frequentemente inadequada e flutuações térmicas que comprometem a rizogénese. Essas restrições podem afetar negativamente a formação de raízes adventícias e a uniformidade das mudas produzidas (Gruda et al., 2021).

Embora o solo seja o substrato original da agricultura, a propagação moderna tende a substituí-lo por substratos artificiais mais uniformes, estruturalmente estáveis, leves e higienizados, capazes de proporcionar melhor arejamento, drenagem e controlo das condições físico-químicas, favorecendo o sucesso do enraizamento e a produção de mudas de alta qualidade (Bonanomi et al., 2020).

1.6.2- Características de alguns substratos para enraizamento de estacas

O enraizamento de estacas requer substratos com características particulares. Estes devem apresentar elevada porosidade e oxigenação, uma vez que a formação de raízes adventícias exige elevada disponibilidade de oxigénio, sendo um dos principais fatores para evitar, necrose e apodrecimento. Os substratos devem permitir retenção moderada de água, uma vez que a estaca sem raízes é extremamente sensível à dessecação. Os substratos devem também ter baixa carga de patógenos, reduzindo a incidência de fungos e bactérias que colonizam tecidos feridos (Faustino, 2023).

1.6.3- Substratos para enraizamento de estacas

Dos diversos substratos passíveis de ser usados no enraizamento de estacas, alguns dos mais comuns são perlite, areia e substratos orgânicos, como terriço ou a sua mistura com os substratos minerais (Sousa, 2022).

A perlite é um material silicioso de origem vulcânica, expandido a altas temperaturas, resultando em um substrato extremamente leve, poroso e quimicamente inerte. As suas principais propriedades incluem elevada porosidade total (70-90%), excelente arejamento, boa retenção de água sem encharcamento, ausência de patógenos e pH estável e próximo da neutralidade (Martínez, 2006).

De acordo com Gruda et al. (2021), a perlite é um dos substratos mais adequados para o enraizamento de estacas lenhosas e semilenhosas, pois apresenta elevada macroporosidade e baixa densidade aparente, maximizando a disponibilidade de oxigénio na base da estaca, fator crítico para a rizogénese.

Estudos de Abad et al. (2020) mostram que espécies como videira, oliveira, figueira e diversas plantas ornamentais apresentam elevados índices de enraizamento e desenvolvimento radicular quando cultivadas em perlite ou em misturas à base de perlite, devido à sua excelente drenagem, estabilidade física e uniformidade estrutural.

A areia lavada, especialmente de granulometria média, é um substrato clássico para enraizamento devido à sua elevada drenagem e arejamento. Apresenta vantagens, como excelente drenagem, estrutura física estável, redução da incidência de doenças, baixo custo e boa oxigenação da zona radicular. Apresenta também algumas desvantagens, como a baixa retenção de água, não conter nutrientes e poder aquecer excessivamente em ambientes de propagação (Júnior, 2019).

Fachinello et al. (2005) ressaltam que a areia é ideal para estacas lenhosas, já que essas possuem maiores reservas internas e necessitam sobretudo de oxigênio.

Segundo Sousa (2022), a terra vegetal, também chamada de terriço ou substrato orgânico de cor preta, é composta por misturas de solo mineral com matéria orgânica parcialmente decomposta, frequentemente proveniente de compostos orgânicos, húmus, restos de folhas ou cascas e turfa.

Algumas das principais propriedades da terra vegetal incluem elevada capacidade de retenção de água, boa capacidade de troca catiónica, presença de nutrientes essenciais e presença de microbiota benéfica (Raviv et al., 2021).

O terriço pode apresentar também desvantagens quando usado isoladamente no enraizamento. Apresenta a possibilidade de compactação, baixo arejamento comparado à perlite e areia, risco de patógenos e variabilidade física e química. Por isso, recomenda-se o seu uso em mistura com perlite ou areia para melhorar a estrutura e equilibrar a aeração, a humidade e o teor de nutrientes, aumentando a taxa de enraizamento em espécies ornamentais e frutíferas (Sousa, 2022).

Em suma, os substratos agrícolas desempenham papel determinante no sucesso do enraizamento de estacas, embora o solo seja o substrato agrícola mais abundante e historicamente utilizado, as suas limitações, especialmente a baixa uniformidade e o risco de patógenos, levaram à adoção de substratos mais estáveis. O sucesso da propagação depende da interação entre características do substrato, necessidades da espécie e condições ambientais,

sendo a escolha correta do substrato um fator crítico para a formação de raízes adventícias (Raviv et al., 2021).

1.7- Variáveis que influenciam o enraizamento

A formação de raízes adventícias em estacas caulinares é influenciada por diversos fatores relacionados ao ambiente, como substrato, humidade e temperatura. O enraizamento é também influenciado pela preparação das estacas, atempamento das estacas, tamanho e presença de folhas e ainda pela aplicação externa de auxinas (Barbosa, 2024).

A influência do genótipo também é muito importante, pois a capacidade de enraizamento é dependente da maior ou menor facilidade para a indução de primórdios radiculares, sendo uma característica herdada dos parentais e que resulta em grande variação entre os híbridos e cultivares (Wurz et al., 2022).

O enraizamento de estacas é um processo fisiológico altamente sensível às condições ambientais. Fatores como temperatura, humidade relativa, oxigenação, luz, água e substrato interferem diretamente na divisão celular, diferenciação de tecidos, síntese de hormonas e sobrevivência das estacas. Portanto, a compreensão destas variáveis é essencial para otimizar a propagação vegetativa (Brighenti et al., 2023).

1.7.1- Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais críticos para a iniciação e crescimento das raízes adventícias, pois influencia a atividade enzimática, a respiração, a mobilização de reservas e a síntese de auxinas, que são essenciais para o enraizamento (Hartmann et al., 2018).

A temperatura do ar ótima geralmente situa-se entre 20 a 28 °C para a maioria das espécies herbáceas e semilenhosas. A temperatura do substrato deve ser ligeiramente superior à do ar e estar compreendida entre 24 a 27 °C, sendo que estas condições promovem a formação de callus e raízes (Fachinello et al., 2005).

Quando a temperatura é muito baixa, há redução da taxa metabólica e atraso na rizogénese. Quando as temperaturas são excessivamente altas, aumentam a transpiração e podem levar ao murchamento das estacas. Portanto, temperaturas controladas promovem um ambiente fisiologicamente estável para o enraizamento (Taiz et al., 2017).

1.7.2- Humidade relativa

A humidade elevada é essencial para evitar a desidratação das estacas, já que estas não possuem sistema radicular funcional para absorver água (Hartmann et al., 2018). A humidade relativa ideal situa-se entre 85 a 95%, permitindo reduzir a transpiração sem causar saturação que favoreça doenças.

Sistemas de nebulização intermitente são amplamente utilizados para manter o equilíbrio da humidade, uma vez que baixa humidade leva à perda de turgor, reduz a fotossíntese e pode inviabilizar a formação de raízes. Pelo contrário, humidade elevada e estável mantém a turgescência e aumenta a taxa de sobrevivência das estacas (Guimarães, 2008).

1.7.3- Luz

Segundo Taiz et al. (2017), a luz influencia a fotossíntese, a temperatura foliar e o balanço hormonal. Níveis moderados de luz favorecem a sobrevivência da estaca e o enraizamento; sombreamento excessivo reduz a taxa fotossintética e o excesso de luz aumenta o stresse hídrico. A intensidade luminosa ideal está, em geral, entre 30-50% de sombreamento, dependendo da espécie.

Além disso, a luz modula a relação auxina-citocinina, ou seja, as condições de luz ajudam a ajustar esse equilíbrio hormonal, regulando a diferenciação celular no ponto de enraizamento (Hartmann et al., 2018).

1.7.4- Disponibilidade de água no substrato

A disponibilidade correta de água é essencial, mas o excesso é prejudicial, uma vez que a saturação do substrato causa hipoxia, impedindo a respiração e afetando a formação de raízes (Raven et al., 2014). A deficiência hídrica causa a perda de turgência e a morte das estacas. O equilíbrio água/ar no substrato é determinante para manter a difusão de oxigénio às células meristemáticas (Guimarães, 2008).

1.7.5- Oxigenação do substrato

A disponibilidade adequada de oxigénio no ambiente radicular é fundamental para a respiração celular e síntese de adenosina trifosfato (ATP), processos essenciais à divisão e diferenciação celular durante a formação de raízes adventícias em estacas. Substratos com alta

porosidade e boa drenagem, tais como misturas com perlite, fibra de coco e outros componentes que permitem o arejamento, promovem maior oxigenação da zona de enraizamento, favorecendo respostas superiores de enraizamento em comparação com meios de maior retenção de água que limitam a difusão de oxigénio (Lee et al., 2025).

A utilização da perlite é particularmente valorizada pela sua estrutura porosa e baixa densidade, o que aumenta o arejamento sem comprometer a drenagem, com retenção equilibrada de água e espaço de ar, criando um meio físico mais favorável à rizogénese em uma ampla gama de espécies de estacas lenhosas e semilenhosas (Hoover et al., 2025).

1.7.6- Substrato

Faustino (2023) considera um substrato para enraizamento de plantas como um material natural, sintético ou a mistura de vários componentes, preparado para oferecer condições ideais ao desenvolvimento de raízes adventícias durante a propagação vegetativa. Atua como suporte mecânico da estaca, regula a disponibilidade de água, garante trocas gasosas adequadas, mantém um ambiente higiénico com baixa presença de patógenos e proporciona um equilíbrio físico-químico favorável ao crescimento inicial das raízes.

Para Hartmann et al. (2018), o substrato deve apresentar alta porosidade (ar e água equilibrados), baixa densidade, boa drenagem, ausência de patógenos e estabilidade física. Portanto, substratos como perlite, turfa e misturas de baixa densidade proporcionam um ambiente ideal para o desenvolvimento radicular inicial.

1.7.7- Particularidades das estacas lenhosas e semilenhosas

As estacas semilenhosas apresentam, em geral, maiores taxas de enraizamento devido ao equilíbrio mais favorável entre hidratos de carbono e auxinas e ao facto de serem colhidas durante o período de crescimento ativo, quando a atividade cambial e metabólica é elevada. Em contraste, as estacas lenhosas exibem menor atividade metabólica, dependem sobretudo das reservas acumuladas no ciclo vegetativo anterior e possuem maior grau de lignificação dos tecidos, o que dificulta a indução da rizogénese, tornando frequentemente necessária a aplicação exógena de auxinas para estimular a formação de raízes adventícias (Leahey, 2014).

1.7.8- Influência do genótipo

O genótipo é um dos fatores mais determinantes no enraizamento de estacas, uma vez que espécies como oliveira, goiabeira, citrinos e videira apresentam capacidades intrínsecas distintas para formar raízes adventícias. Essas diferenças genéticas refletem variações na produção endógena de auxinas, na presença de barreiras anatômicas ao enraizamento e no grau de plasticidade celular dos tecidos, influenciando diretamente a eficiência da rizogênese entre espécies e cultivares (Hartmann et al., 2014).

O enraizamento de estacas lenhosas e semilenhosas constitui um processo fisiológico altamente complexo que envolve reprogramação celular, regulação hormonal com destaque para o papel central das auxinas, mobilização de reservas energéticas e resposta às condições ambientais de propagação. A formação de raízes adventícias resulta, portanto, da integração entre a fisiologia da planta-mãe, as características da estaca, a base genética da espécie e os fatores externos de cultivo, evidenciando a natureza multifatorial da rizogênese (Aguiar, 2020).

1.7.9- Estado fisiológico da planta-mãe

As condições ambientais e fisiológicas às quais a planta-mãe é submetida antes da colheita das estacas exercem influência decisiva sobre o sucesso do enraizamento. Plantas cultivadas sob boa disponibilidade luminosa, nutrição mineral equilibrada e adequado estado fisiológico tendem a acumular maiores reservas de hidratos de carbono e apresentar balanço hormonal mais favorável, resultando em estacas com maior capacidade de reprogramação celular e indução de raízes adventícias (Oliveira 2008).

Fatores como reservas de hidratos de carbono e balanço hormonal afetam diretamente o potencial rizogénico por modularem a disponibilidade energética, a síntese e o transporte de auxinas e a competência dos tecidos para responder aos estímulos de enraizamento (Diaz-Sala, 2021).

1.8- Notas sobre a cultura da oliveira

A oliveira é uma das plantas cultivadas mais antigas do mundo, reconhecida pela sua importância económica, cultural e ecológica nos países mediterrânicos. Além de ser fonte de azeite e azeitonas de mesa, a oliveira possui grande longevidade e capacidade de adaptação a ambientes áridos e semiáridos (Barranco et al., 2017).

A origem da oliveira remonta à região do Mediterrâneo Oriental, incluindo partes da atual Síria, Líbano e Palestina, onde já era cultivada há mais de 6.000 anos. Com o desenvolvimento do comércio marítimo, a cultura foi difundida para Grécia, Egito, Itália e posteriormente para toda a bacia mediterrânica (Zohary, 2012).

A expansão histórica da oliveira esteve fortemente associada às civilizações do Mediterrâneo antigo, com destaque para fenícios e gregos, responsáveis pela disseminação inicial da cultura, enquanto os romanos sistematizaram e aperfeiçoaram as técnicas de cultivo, colheita e extração do azeite, consolidando o seu uso alimentar, medicinal e ritualístico (Rallo et al., 2018).

A partir do século XVI, a oliveira foi introduzida em novas regiões subtropicais e temperadas fora da bacia do Mediterrâneo, nomeadamente na América Latina, como resultado da expansão europeia. Atualmente, embora a produção continue fortemente concentrada no Mediterrâneo, a cultura encontra-se amplamente distribuída em regiões da África Austral, América do Sul, Austrália e outras áreas com condições edafoclimáticas favoráveis, refletindo a sua elevada plasticidade ecológica e crescente importância económica global (Oliveira, 2008).

A oliveira é um arbusto ou árvore perene pertencente à ordem Lamiales, família Oleaceae, de porte médio, podendo atingir de 5 a 15 metros de altura, dependendo das condições ambientais e da condução agronómica (Barranco et al., 2017).

O tronco é tortuoso, frequentemente rugoso e espesso com a idade. A copa é ampla, arredondada e muito ramificada. As folhas são opostas, simples e persistentes, de formato lanceolado, com superfície superior verde-escura e inferior prateada, devido à presença de tricomas. Esta anatomia reduz a perda de água e é uma adaptação às condições secas mediterrânicas (Fernández, 2014).

As flores são pequenas, esbranquiçadas, organizadas em panículas e com polinização anemófila (polinização pelo vento). Apresenta tendência à alternância de produção (safra e contrassafra), dependendo de fatores ambientais e de manejo (Rallo et al., 2011).

O fruto é uma drupa, composta por epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e caroço (endocarpo lenhoso). O azeite é acumulado principalmente no mesocarpo durante a maturação, em que a cor do fruto muda de verde para roxo-escuro (Uceda e Hermoso, 2001). O sistema

radicular é extenso e superficial, mas capaz de explorar camadas profundas quando o solo permite e muito eficiente na absorção de água em condições de seca (Fernández, 2014).

1.9- Notas sobre o loureiro

O louro-cerejo é uma espécie arbustiva aromática utilizada sobretudo como planta ornamental. Pertence à família Rosaceae e é valorizado pela sua folhagem perene, densa e brilhante, pelo porte vigoroso, pela boa adaptação a podas ornamentais (sebes e renques) e pelo seu uso frequente em jardins e espaços urbanos. Apesar da semelhança com o louro nobilis, as suas folhas não são comestíveis e podem ser potencialmente tóxicas. Além disso, é uma espécie resistente, tolerante à seca e adequada a jardins mediterrânicos (Ruberto e Baratta, 2017).

O loureiro é originário da região do Mediterrâneo Oriental, onde cresce de forma espontânea em bosques e zonas rochosas. Registos históricos mostram que já era utilizado pelos antigos gregos e romanos, tanto como planta simbólica quanto como especiaria (Pollio et al., 2021).

Na Grécia antiga, o loureiro estava associado ao deus Apolo e simbolizava sabedoria, vitória e nobreza, sendo comum nas coroas usadas por poetas e atletas. Os romanos continuaram essa tradição, utilizando ramos de louro em cerimónias militares e religiosas (Weiss et al., 2012).

Durante a Idade Média, o loureiro expandiu-se por toda a Europa, sendo cultivado em jardins monásticos e residenciais devido ao seu valor aromático e à crença nas suas propriedades protetoras. Atualmente, é amplamente cultivado como planta ornamental em todo o Mediterrâneo, América do Sul, África Austral e regiões temperadas (Fernández, 2016).

O louro-cerejo é um arbusto ou pequena árvore perene que atinge normalmente entre 2 e 6 m de altura, podendo ultrapassar 8–10 m em condições edafoclimáticas favoráveis. Apresenta crescimento vigoroso, copa densa e folhas coriáceas, características que justificam o seu amplo uso em paisagismo, especialmente na formação de sebes. Apresenta copa densa e arredondada, característica que lhe confere elevado valor ornamental, sobretudo em topiaria (Pignatti, 2017).

As folhas são simples, alternas, coriáceas, de formato lanceolado a elíptico, com coloração verde-escura na face adaxial e mais clara na abaxial, libertando aroma intenso devido

à elevada concentração de óleos essenciais, dominados por compostos como cineol e eugenol (Sellami et al., 2011).

A espécie é dióica, apresentando flores masculinas e femininas em indivíduos distintos. As flores são pequenas, de coloração amarelo-pálida, dispostas em umbelas, com floração predominantemente primaveril (Arroyo et al., 2012).

Os frutos são drupas ovais, inicialmente verdes, tornando-se pretas-azuladas na maturação, sendo produzidos exclusivamente por plantas femininas. O sistema radicular é relativamente profundo, bem ramificado e fibroso, conferindo boa resistência à seca, estabilidade mecânica e eficiente exploração de água e nutrientes no solo (Fernández, 2016).

Como planta ornamental, o loureiro destaca-se por suportar podas de formação. É ideal para topiaria em esferas, pirâmides e colunas. É resistente ao vento, salinidade moderada e períodos secos. Cresce bem em vasos e jardins formais, sendo uma espécie duradoura e com baixa exigência de manutenção (Pignatti, 2017). Por essas características, é muito comum em parques, entradas de edifícios, jardins mediterrânicos e espaços públicos.

O loureiro combina valor estético, resiliência e significado cultural profundo. A sua adaptação ao clima mediterrânico e sua morfologia elegante tornam-no uma das espécies mais utilizadas em paisagismo. Ao mesmo tempo, sua história longa, desde a Grécia Antiga até os jardins modernos, confere-lhe um simbolismo único e reconhecido globalmente (Fernández, 2016).

II- MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de enraizamento de estacas caulinares de oliveira, da cultivar Cobrançosa, e loureiro-cerejo foi realizado em Bragança, no nordeste de Portugal, em estufa, na Escola Superior Agrária (ESA) do Instituto Politécnico de Bragança (IPB). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Csb, caracterizado por verões quentes e secos e invernos húmidos. A temperatura média anual é de 12,9 °C e a precipitação de 790,0 mm (IPMA, 2026).

2.1- Caracterização da estufa

Segundo Pimentel (2016), a estufa onde foi realizado o ensaio de enraizamento das estacas caulinares de oliveira e loureiro-cerejo apresenta forma de arco abatido com estrutura de aço galvanizado ancorada em murete de betão e tijolo. A cobertura é de policarbonato de parede dupla de espessura de 6 mm.

A abertura principal tem porta de serviço dupla com antecâmara, para garantir o isolamento (Figura 1). A estufa tem 15,30 m de comprimento, 8,5 m de largura e uma altura de fuste de 3,80 m. A área total coberta é de 130,05 m².



Figura 1. Vistas externa (esquerda) e interna (direita) da estufa.

2.1.1- Sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento ou “cooling system” é constituído por ventiladores axiais de grande volume e baixa velocidade, com capacidade para 50 renovações por hora. Apresenta painel de humedecimento em favo de celulose tratada, cuba de recolha de água escorrente e calha de distribuição da água no painel. É composto ainda de grupo eletrobomba de recirculação da água de "cooling", boiador de nível para manutenção do nível de alimentação do "cooling", quadro elétrico de potência comando e controlo com termóstato digital com sonda à distância, higróstato digital com sonda à distância e instalação elétrica (Figura 2).



Figura 2. Vistas internas do ventilador (esquerda) e do painel húmido (direita) do sistema de arrefecimento.

2.1.2- Bancadas e acessórios

Na estufa existem três bancadas de enraizamento e/ou germinação, as quais incluem tabuleiros de aço galvanizado, sendo as bases dos tabuleiros em chapa de poliéster reforçada a fibra de vidro. Estão também equipadas com manta dupla de humidificação e inércia térmica, resistências elétricas com proteção em poliamida, distribuídas ao longo da bancada no meio de uma camada de areia com 5 a 6 cm de espessura, termostatos digitais e sensores em bainha de aço inox e instalação elétrica.

Cada bancada tem 10 m de comprimento, 1,6 m de largura e 0,7 m de altura, perfazendo uma área útil total de 16 m². As bancadas possuem ainda um sistema de nebulização automático constituído por nebulizadores STER roscados em prumos de tubo hidronil de 10 quilogramas-força por centímetro quadrado (kgf cm⁻²), electroválvula de latão, normalmente fechada com abertura à operação, montada em *bypass* para eventual controlo manual, grupo

hidroressurizador com balão e pressostato válvula antirretorno, filtro de dupla malha 155, válvulas de corte de macho esférico inox, quadro elétrico de potência correndo a controlo com temporizador semanal e temporizadores de tempos de rega.

2.1.3- Ecrã térmico

A estufa possui ecrã térmico constituído por uma rede LS 17 com malha de alumínio e poliéster. Com ele, consegue-se 75% de sombreamento, 65% de poupança de energia, condicionamento da intensidade luminosa durante o dia e proteção contra a fuga de calor durante a noite. Está automatizada por microprocessador com célula fotoelétrica como sensor, moto-reductor, veio mandante, carretos, roldanas de enrolamento e vaivém, cabos de aço revestidos com 3 mm de diâmetro, fio tensor de nylon, fins de curso, quadro de potência, instalação elétrica (no topo da entrada da estufa, junto à zona de comandos e cabeça do equipamento montada com iluminação com lâmpada em "olho de boi" a uma tomada de corrente 220 V.

Possui ainda um gerador de ar quente com potência de 60 000 kcal h⁻¹ com queimador para gás, termóstato ambiente e bitermoestato de câmara, chaminé para exaustão dos gases de queima para o exterior da estufa e instalação elétrica. A estufa também possui um sistema de rega gota a gota com temporizador semanal e temporizadores de tempos de rega.

2.2- Instalação do ensaio

O ensaio de enraizamento de estacas caulinares de oliveira e loureiro-cerejo foi realizado durante o período outono/inverno, concretamente desde outubro de 2025 a março de 2026.

2.2.1- Colheita e transporte do material vegetal de oliveira e loureiro

O material vegetal de oliveira foi colhido na Quinta do Pinheiro Manso. Varas semilenhosas foram colhidas na porção mediana dos ramos do ano das plantas-mãe. Esta colheita foi realizada no final de outubro de 2025, tendo sido efetuada manualmente com recurso a tesouras de poda previamente desinfetadas.

O material vegetal de loureiro-cerejo foi colhido na área das estufas da ESA. As varas semilenhosas foram também colhidas na porção mediana dos ramos do ano das plantas-mãe. Esta colheita também foi realizada no final do mês de outubro de 2025, igualmente com tesouras

de poda desinfetadas. As varas de ambas as espécies foram agrupadas e atadas em molhos e transportadas para as estufas da ESA/IPB. Foram espalhadas ao longo de uma bancada de nebulização e humedecidas, ficando com rega de nebulização até ao dia seguinte.

2.2.2- Preparação e desinfecção das estacas

Fez-se a seleção de varas cujos diâmetros não diferissem muito entre si, de modo a obter estacas homogêneas. As estacas foram obtidas após eliminação da extremidade e da base da vara, aproveitando-se apenas as zonas intermédias do lançamento, fazendo um corte em bisel, ou ligeiramente inclinado. O corte foi realizado aproximadamente 1 cm abaixo do nó de inserção, deixando de duas a quatro folhas para os equilíbrios hídrico e energético das estacas (Figura 3).



Figura 3. Estacas de oliveira (esquerda) e loureiro (direita) prontas a serem colocadas a enraizar nos substratos.

As estacas foram padronizadas com, aproximadamente, 15 cm de altura, recorrendo a uma régua graduada. Cada estaca de oliveira ficou com 2 a 4 folhas na parte superior, eliminando as restantes até à base, na parte que vai ser enterrada no substrato. Cada estaca de loureiro ornamental ficou com duas folhas cortadas ao meio (Figura 3). As estacas foram colocadas num tabuleiro sob nebulização para não desidratarem.

Após a preparação das estacas, procedeu-se à desinfecção com um fungicida de designação comercial “Cupravit”. Consiste em pó molhável com 50% (p/p) de cobre sob a forma de oxicloreto de cobre. A calda de desinfecção foi preparada numa concentração de 400 g hl⁻¹. As estacas foram mergulhadas na solução durante 20 segundos e colocadas em tabuleiros a secar durante, aproximadamente, 90 minutos. As estacas foram posteriormente separadas em molhos de 150 estacas de oliveira e 45 estacas de loureiro.

2.2.3- Delineamentos experimentais e colocação das estacas na bancada de enraizamento

O protocolo experimental foi organizado em quatro experiências independentes, cada uma delas estabelecida segundo um delineamento fatorial, com dois fatores. Dois ensaios, um com oliveira (Ensaio 1) e outro com loureiro (Ensaio 2), incluíram substrato em três níveis (perlite, areia e areia+terriço) e método de rega em dois níveis (manual com regador e nebulização). Outros dois ensaios, também com oliveira (Ensaio 3) e loureiro (Ensaio 4), incluíram os fatores substrato com dois níveis (perlite e areia+terriço) e tratamento hormonal com três níveis (auxina sintética, extrato natural de aloé vera e testemunha sem aplicação de hormona). A Figura 4 mostra o aparato experimental, conjugando os quatro protocolos experimentais.



Figura 4. Visão parcial dos delineamentos experimentais com destaque para setores com nebulização (esquerda) e sem nebulização (direita).

Todos os tratamentos foram constituídos por três repetições. Na oliveira, cada repetição foi composta por 50 estacas, enquanto no loureiro-cerejo cada repetição foi constituída por 15

estacas. No total, foram instaladas 1 800 estacas de oliveira e 540 estacas de loureiro ornamental em condições de enraizamento.

Foram utilizados três tipos de substratos no enraizamento das estacas (perlite, areia e areia + terriço). A perlite, material de origem vulcânica expandida, foi utilizada devido à sua elevada porosidade, baixa densidade aparente e elevada capacidade de arejamento, características que favorecem a oxigenação da zona radicular e a drenagem do excesso de água. A areia, de granulometria média, foi empregue como substrato inerte, apresentando boa drenagem e baixa retenção de água e nutrientes, permitindo avaliar o enraizamento das estacas sob condições de reduzida disponibilidade nutricional. O substrato composto por areia + terriço consistiu numa mistura homogênea, combinando as propriedades físicas da areia com a fração orgânica e mineral do terriço, visando melhorar a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes. As suas características químicas e físicas foram posteriormente determinadas por análises laboratoriais, cujos resultados são apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Resultados da análise laboratorial das propriedades físico-químicas do terriço utilizado como componente do substrato experimental (média±desvio padrão, n=2), incluindo macro e micronutrientes, relação carbono (C)/azoto (N), condutividade elétrica, pH e humidade.

Propriedades do terriço		Propriedades do terriço (cont.)	
Carbono (g kg ⁻¹)	220,0±24,0	Sódio (mg kg ⁻¹)	429,3±73,8
Azoto (g kg ⁻¹)	12,6±0,5	Ferro (mg kg ⁻¹)	26936,7±2266,2
C/N	175,8±26,1	Manganês (mg kg ⁻¹)	615,2±38,7
Fósforo (g kg ⁻¹)	1,3±0,1	Zinco (mg kg ⁻¹)	80,9±6,7
Potássio (g kg ⁻¹)	2,1±0,4	Cobre (mg kg ⁻¹)	107,3±13,4
Cálcio (g kg ⁻¹)	16,7±0,7	Condutividade (µS cm ⁻¹)	188,0±22,6
Magnésio (g kg ⁻¹)	5,5±0,3	pH (H ₂ O, 1:2,5)	6,3±0,3

Durante a condução dos ensaios, foram utilizados dois métodos de fornecimento de água às estacas, sendo rega por nebulização e rega manual na primeira experiência com oliveira, na segunda com o loureiro e rega por nebulização na terceira experiência com oliveira e na quarta com o loureiro.

No sistema de nebulização, as estacas foram mantidas sob nebulização intermitente, com aplicação de microgotículas de água, de forma a assegurar elevada humidade relativa do ar e adequada humidade do substrato, reduzindo as perdas de água por transpiração e favorecendo o processo de enraizamento, o sistema de nebulização esteve ligado entre as 7 e as 19 horas, regando com intervalos de 15 minutos e duração de 10 segundos. Durante a noite, o

sistema de nebulização esteve desligado, pois o ensaio decorreu durante o período outono/inverno de outubro de 2025 a março de 2026, em que naturalmente ocorre maior humidade ambiente.

No tratamento sem nebulização, a reposição hídrica foi realizada por rega manual, utilizando-se um regador com capacidade de 10 L, aplicando a água diretamente sobre o substrato, em volume suficiente para manter a humidade próxima à capacidade de campo, evitando tanto o défice hídrico quanto o encharcamento. A frequência das regas foi ajustada de acordo com as condições ambientais e o estado de humidade do substrato ao longo do período experimental.

Na terceira e na quarta experiência, foram avaliados três tratamentos hormonais no enraizamento das estacas, hormona sintética, extrato natural de aloé vera e controlo sem aplicação de hormona. A hormona sintética, à base de reguladores de crescimento do grupo das auxinas, foi utilizada com o objetivo de promover a indução e o desenvolvimento de raízes adventícias, constituindo uma referência amplamente empregue em estudos de propagação vegetativa devido à sua eficácia e mecanismo de ação bem estabelecido. Foi utilizada a auxina sintética ácido indolbutírico (AIB) com 99% de pureza. A solução hormonal foi preparada pela dissolução de 3 g de AIB em 300 mL de álcool etílico a 96%, seguida da adição de 700 mL de água destilada, obtendo-se um volume final de 1 L de solução.

O extrato de aloé vera foi utilizado como alternativa de origem natural, reconhecida pela presença de compostos bioativos, incluindo auxinas naturais, vitaminas, aminoácidos e polissacarídeos, que podem contribuir para a estimulação do enraizamento e para a proteção fisiológica dos tecidos vegetais. O gel de aloé vera foi preparado de acordo com um procedimento específico de extração, descrito detalhadamente na subseção seguinte:

Dez folhas frescas de aloé vera (adultas e saudáveis), água destilada, liquidificador, pano fino ou filtro e um frasco limpo e escuro para conservar, o extrato no frigorífico.

Seguindo o protocolo de preparação do extrato, lavou-se bem as folhas, cortou-se as laterais com espinhos, retirou-se o gel transparente interno evitando a parte amarela, que contém aloína irritante, colocou-se o gel no liquidificador com 1 parte de gel para 2 partes de água (100 ml de gel + 200 ml de água), bateu-se até ficar homogéneo, finalmente, filtrou-se e guardou-se num frasco limpo no frigorífico num período inferior a 7 dias.

As estacas que levaram hormona sintética, quer as de oliveiras, como as de loureiro ornamental, foram mergulhadas na solução de AIB durante 5 segundos e de seguida colocadas na bancada. As estacas que levaram extrato de aloé vera, quer as de oliveiras como as de loureiro ornamental, foram mergulhadas durante 6 horas e de seguida colocadas na bancada.

2.2.4- Temperatura e humidade ambiente e temperatura do substrato

Nos ensaios de enraizamento das estacas caulinares de oliveira e loureiro ornamental, a temperatura ambiente na estufa situou-se entre 6 e 26 °C e a humidade do ar manteve-se entre 80 e 90%. O sistema de nebulização esteve ligado entre as 7 e as 19 horas, regando com intervalos de 15 minutos e duração de 10 segundos. Durante a noite, o sistema de nebulização esteve desligado, pois o ensaio decorreu durante o período outono/inverno em que naturalmente ocorre maior humidade ambiente. Quanto à temperatura dos substratos, neste estudo manteve-se nos 23 °C.

2.2.5- Eliminação de infestantes

Uma semana após a instalação do ensaio, notou-se o aparecimento de ervas daninhas no substrato areia+terriço, urgindo a necessidade de as eliminar com monda manual. Na remoção das ervas daninhas, foi usada uma pinça para evitar tocar nas estacas que estavam a enraizar.

No enraizamento de estacas, usa-se uma pinça ou outro instrumento delicado para remover infestantes porque as estacas ainda não possuem raízes fixas e estão sensíveis, e qualquer movimento no substrato pode deslocá-las, romper o callus radicular em formação e comprometer o processo de enraizamento.

Além disso, arrancar ervas daninhas com as mãos tende a movimentar e compactar o substrato, reduzindo o arejamento, essencial para o desenvolvimento das raízes, enquanto a pinça permite uma remoção extremamente precisa, tocando apenas a infestante sem perturbar as estacas.

O outro fator importante é a higiene, pois instrumentos desinfetados reduzem o risco de contaminação por fungos e bactérias que facilmente podem danificar estacas jovens (Figura 5).

Como as ervas daninhas nessa fase são muito pequenas, a pinça também facilita a sua remoção individual sem alterar o microambiente húmido e estável necessário para o

enraizamento, evitando quedas de humidade e microfissuras no substrato. Assim, o uso da pinça preserva a integridade física, sanitária e estrutural do sistema de propagação.

As infestantes apareceram porque o terriço, por ser um material rico em matéria orgânica e proveniente de solo natural, quase sempre contém sementes viáveis de plantas espontâneas, mesmo quando peneirado ou aparentemente “limpo”. Essas sementes podem estar dormentes e só germinam quando encontram condições favoráveis, como humidade constante, boa oxigenação e temperatura estável, e este é, exatamente, o ambiente ideal para o enraizamento das estacas.

Já a areia lavada normalmente é estéril ou quase estéril, mas não impede que as sementes presentes no terriço germinem, apenas ajuda a drenar e a criar boas condições para qualquer semente presente. Além disso, o manejo feito com irrigação frequente e ambiente protegido é perfeito não só para as estacas, mas também para as pequenas infestantes, que competem por luz, água e nutrientes.



Figura 5. Operação de remoção das infestantes com pinça (esquerda) e quantidade de infestantes removida (direita).

2.3- Parâmetros avaliados

Durante a condução dos ensaios, foram avaliados parâmetros relacionados com a viabilidade, o crescimento vegetativo e o desenvolvimento radicular das estacas de oliveira e de loureiro ornamental. Na avaliação da viabilidade geral consideraram-se as percentagens de estacas brotadas, estacas vivas sem brotação e estacas mortas.

Relativamente ao crescimento vegetativo, avaliaram-se o comprimento do maior broto e a massa seca dos brotos. Para o desenvolvimento radicular foram analisados o número de raízes, o comprimento da maior raiz, o comprimento total das raízes e a massa seca das raízes. As avaliações foram realizadas após o período experimental estabelecido de 90 dias, permitindo analisar o efeito dos diferentes substratos, métodos de rega e tratamentos hormonais sobre o desempenho das estacas.

2.4- Análise estatística

Os dados foram inicialmente testados para a normalidade e a homogeneidade de variâncias, usando os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respetivamente. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância bidirecional no software SPSS. Quando os fatores apresentavam três níveis e havia diferenças significativas, as médias foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). Os resultados foram apresentados sob a forma de médias acompanhadas dos respetivos erros-padrão. As tabelas e os gráficos utilizados na apresentação dos resultados foram elaborados no programa Microsoft Excel.

III-RESULTADOS

3.1- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira

3.1.1- Viabilidade geral das estacas

Na avaliação geral das estacas, consideraram-se três resultados: estacas brotadas; estacas vivas (hidratadas), mas não brotadas; e estacas mortas. A Figura 6 apresenta a distribuição percentual de estacas por estas categoria em função dos substratos e métodos de rega aplicados.

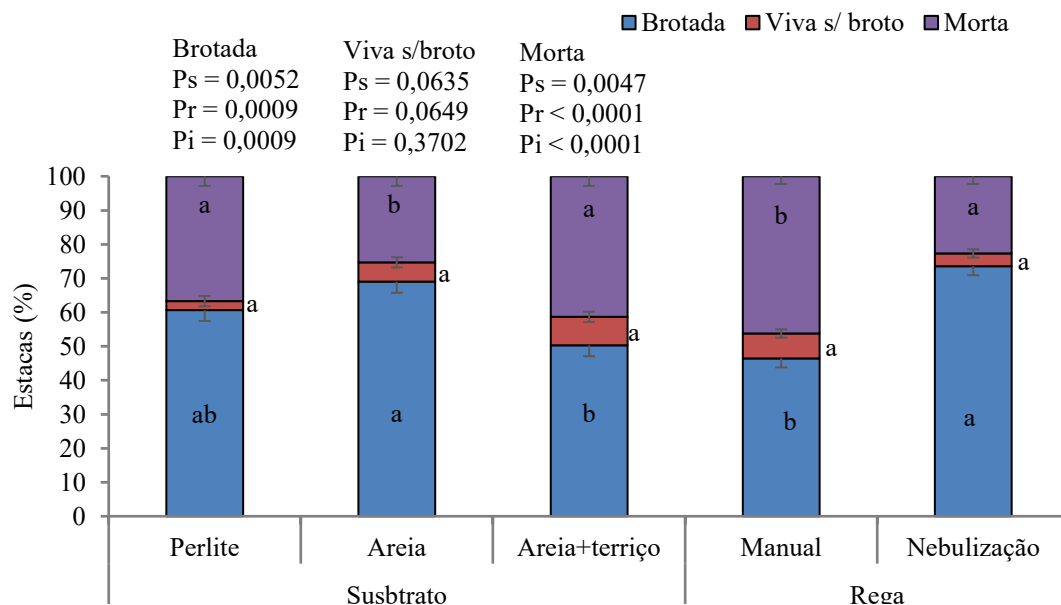


Figura 6. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de oliveira em função do tipo de substrato e do método de rega. Para cada fator (substrato ou rega) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato × rega.

Relativamente ao fator substrato, observaram-se diferenças significativas na percentagem de estacas brotadas (Figura 6). O substrato areia apresentou os valores mais elevados, diferindo significativamente do substrato areia+terriço, que registou a menor percentagem. A perlite apresentou valores intermédios, sem diferença significativa em relação aos restantes tratamentos.

Em termos de mortalidade, o substrato areia evidenciou a menor quantidade de estacas mortas, enquanto perlite e areia+terriço apresentaram valores mais elevados e sem diferenças

significativas entre si (Figura 6). A percentagem de estacas vivas sem broto foi reduzida em todos os substratos, sem diferenças significativas, ainda que com tendência para valores mais elevados no substrato areia+terriço.

Quanto ao fator rega, verificaram-se diferenças significativas entre tratamentos (Figura 6). A nebulização resultou numa percentagem significativamente superior de estacas brotadas em comparação com a rega manual. Por outro lado, a rega manual apresentou uma maior percentagem de estacas mortas. Tal como observado para os substratos, a fração de estacas vivas sem broto manteve-se baixa em ambos os regimes de rega, sem diferenças significativas.

Os resultados evidenciam uma interação significativa entre o tipo de substrato e o método de rega na resposta das estacas de oliveira, demonstrando que o desempenho dos substratos não pode ser interpretado de forma isolada. Observa-se no Quadro 2 uma variação biológica expressiva, com o substrato areia+terriço a apresentar comportamentos opostos consoante o regime hídrico: sob rega manual registou a menor brotação (20,0%) e a maior mortalidade (69,3%), enquanto sob nebulização apresentou a maior taxa de brotação (80,7%) e a menor mortalidade (13,3%).

Quadro 2. Efeito separado de substratos e rega sem considerar a interação na percentagem de estacas brotadas, vivas sem broto e mortas.

Substrato	Rega	Brotada	Viva s/broto	Morta
Perlite	Manual	60,0 a	2,7 a	37,3 b
Perlite	Nebulização	61,3 a	2,7 a	36,0 b
Areia	Manual	59,3 a	8,7 a	32,0 bc
Areia	Nebulização	78,7 a	2,7 a	18,7 bc
Areia+terriço	Manual	20,0 b	10,7 a	69,3 a
Areia+terriço	Nebulização	80,7 a	6,0 a	13,3 c

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ($\alpha = 0,05$).

3.1.2- Crescimento da parte aérea

3.1.2.1- Comprimento do maior broto

O comprimento do maior broto é um indicador do crescimento vegetativo e do vigor da parte aérea das estacas. A Figura 7 apresenta os valores médios desta variável em função dos diferentes substratos e métodos de rega.

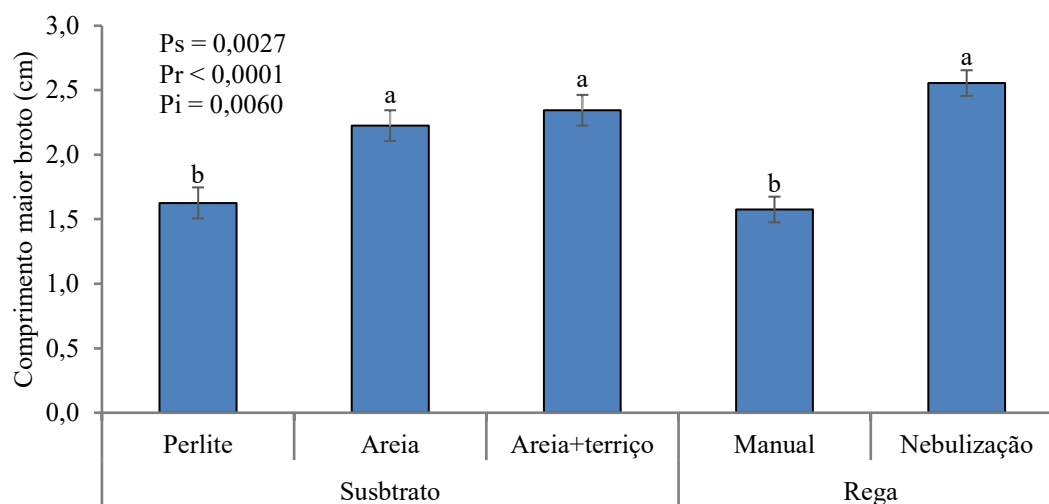


Figura 7. Comprimento do maior broto em estacas de oliveira sob diferentes substratos e métodos de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

O comprimento do maior broto apresentou diferenças significativas para os dois fatores em estudo (Figura 7). Entre os substratos, a perlite apresentou valores significativamente mais baixos que os demais substratos. Relativamente ao método de rega, a nebulização promoveu o maior alongamento dos brotos, distinguindo-se estatisticamente da rega manual, que registou os menores valores. De forma geral, observa-se um padrão consistente de maior crescimento vegetativo associado à nebulização e a substratos com maior complexidade estrutural.

3.1.2.2- Massa seca dos brotos

A massa seca dos brotos corresponde à biomassa vegetal acumulada após a remoção da água, sendo um indicador direto do crescimento e da produção de matéria orgânica. A Figura 8 apresenta os valores de massa seca dos brotos em função dos diferentes tratamentos.

A massa seca dos brotos variou significativamente entre os tratamentos, refletindo diferenças na acumulação de biomassa aérea (Figura 8). Relativamente ao fator substrato, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas na massa seca dos brotos. O substrato areia apresentou os valores mais elevados, diferindo significativamente com a perlite. A perlite e a areia+terriço registaram valores inferiores, sem diferenças significativas entre si.

Relativamente aos métodos de rega, a nebulização destacou-se com os maiores valores de massa seca, diferenciando significativamente da rega manual, que apresentou valores mais baixos.

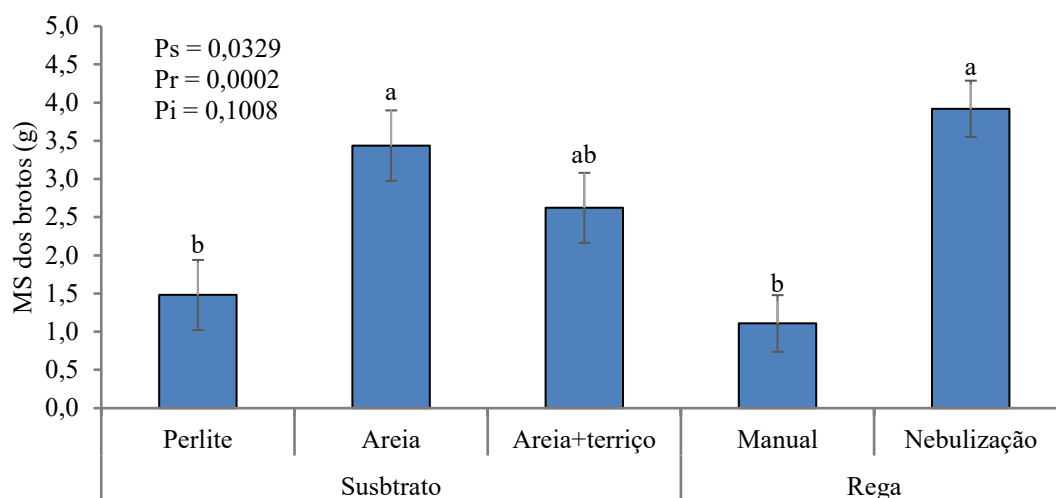


Figura 8. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.1.3- Desenvolvimento radicular

3.1.3.1- Número de raízes por estaca

O número de raízes por estaca é um parâmetro fundamental na avaliação do enraizamento, refletindo a capacidade de emissão radicular das estacas. A Figura 9 apresenta o número médio de raízes formadas em função dos diferentes substratos e métodos de rega.

O número de raízes formadas por estaca apresentou variação sem diferenças significativas entre os diferentes tratamentos (Figura 9). Os substratos perlite, areia e areia + terriço apresentaram valores próximos entre si, com ligeira superioridade da perlite, embora sem diferenças estatisticamente significativas.

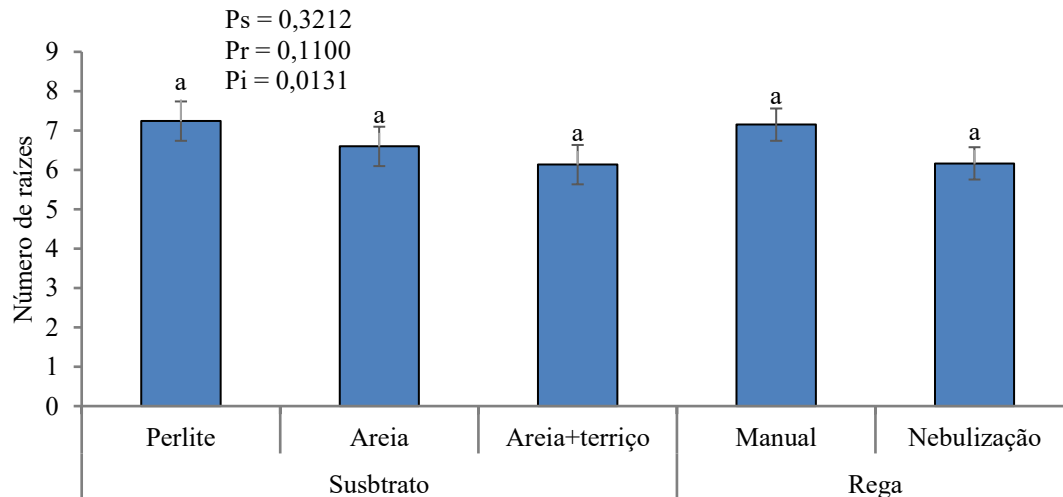


Figura 9. Número de raízes por estaca de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. P_s , P_r e P_i correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

Relativamente aos métodos de rega, a rega manual apresentou um valor médio ligeiramente superior à nebulização.

3.1.3.2- Comprimento da maior raiz

O comprimento da maior raiz é um indicador do crescimento radicular em profundidade e da capacidade de exploração do substrato pelas estacas. A Figura 10 apresenta os valores médios deste parâmetro em função dos diferentes substratos e métodos de rega.

O comprimento da maior raiz apresentou variações sem diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Entre os substratos, a areia + terriço apresentou valores médios mais elevados, enquanto a areia registou os menores valores e a perlite valores intermédios, embora sem diferenças estatisticamente significativas entre si.

Relativamente aos métodos de rega, a rega manual evidenciou valores ligeiramente superiores aos da nebulização, todavia sem diferenças estatisticamente significativas.

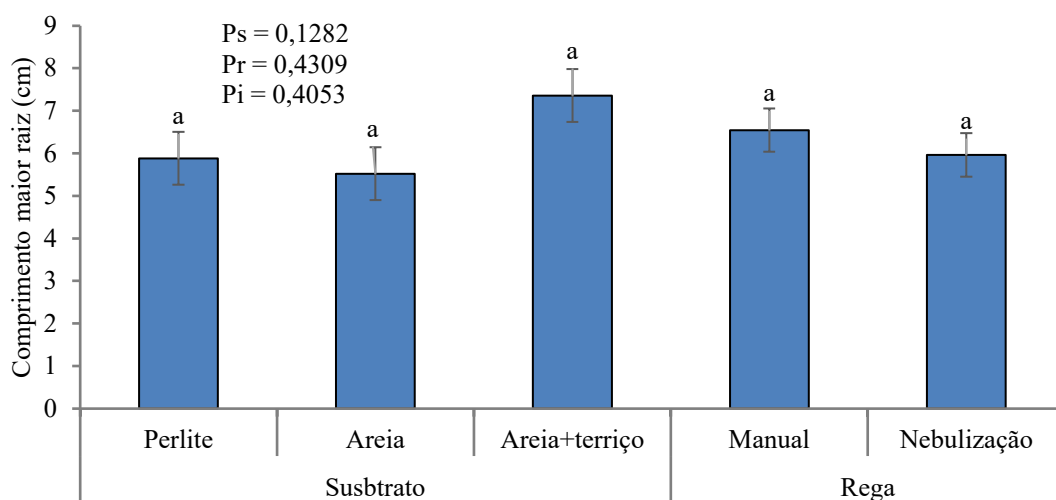


Figura 10. Comprimento da maior raiz em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.1.3.3- Comprimento total de raízes

O comprimento total das raízes representa o desenvolvimento global do sistema radicular, integrando o crescimento de todas as raízes emitidas pelas estacas. A Figura 11 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

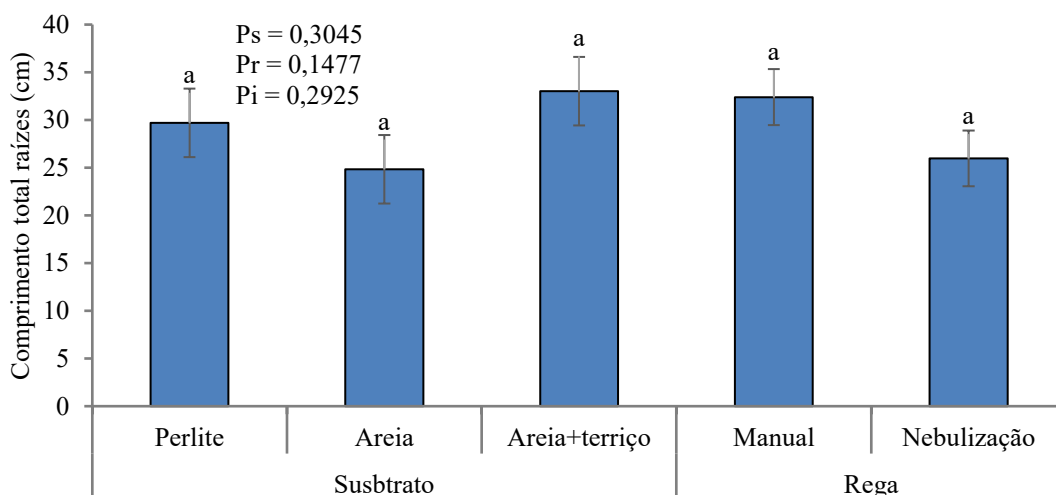


Figura 11. Comprimento total das raízes em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

Observa-se na figura 11 que o comprimento total das raízes variou entre os tratamentos, embora sem diferenças estatisticamente significativas. Entre os substratos, a areia + terriço apresentou os maiores valores médios, enquanto a areia apresentou os menores valores. A perlite apresentou valores intermédios. Quanto aos métodos de rega, a rega manual apresentou valores ligeiramente superiores à nebulização, mas também sem diferenças significativas.

3.1.3.4- Massa seca das raízes

A massa seca das raízes corresponde à biomassa radicular acumulada após a remoção da água, sendo um indicador da robustez e desenvolvimento estrutural do sistema radicular. A Figura 12 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

A massa seca das raízes apresentou variação entre os tratamentos, com diferenças estatisticamente significativas. Entre os substratos, a perlite apresentou os valores mais elevados, diferindo significativamente da areia+terriço, que registou os valores mais baixos. A areia apresentou valores intermédios, sem diferenças significativas em relação aos demais tratamentos. Relativamente aos métodos de rega, a rega manual evidenciou valores superiores, diferindo significativamente da nebulização, que apresentou valores mais reduzidos.

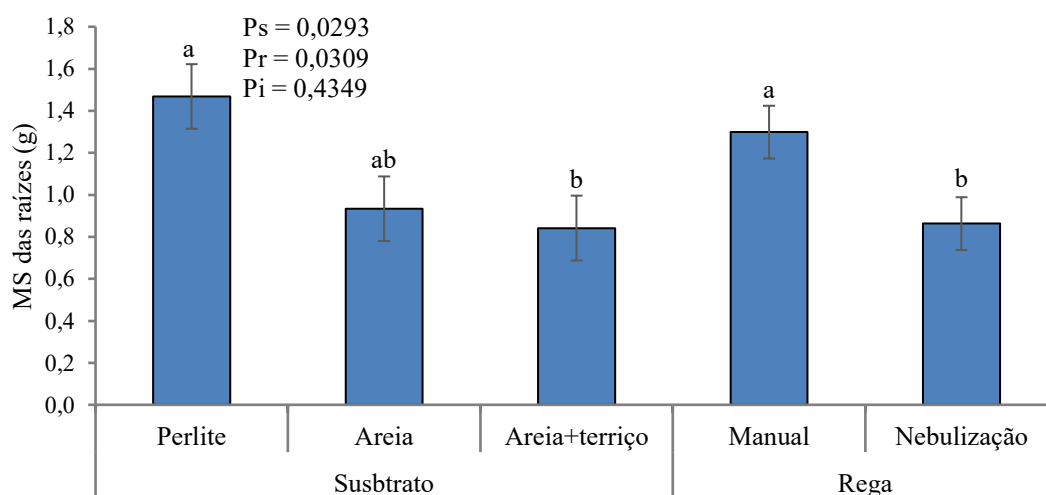


Figura 12. Massa seca (MS) das raízes em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.2- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro

3.2.1- Viabilidade geral das estacas

Para a avaliação global das estacas, foram consideradas duas categorias de resposta: estacas brotadas; e estacas mortas. Neste ensaio, não se registaram estacas vivas sem emissão de brotos. A Figura 13 ilustra a distribuição percentual destas categorias em função dos diferentes substratos e métodos de rega aplicados.

Na figura 13 verifica-se uma elevada percentagem de estacas mortas na maioria dos tratamentos, evidenciando uma baixa taxa de sobrevivência global. Entre os substratos, a perlite apresentou a menor percentagem de estacas brotadas, diferindo significativamente dos substratos areia e areia+terriço, que apresentaram valores superiores e próximos entre si, embora ainda reduzidos.

Relativamente aos métodos de rega, a nebulização apresentou menor percentagem de estacas brotadas, com diferenças significativas para a rega manual, que evidenciou valores significativamente mais elevados.

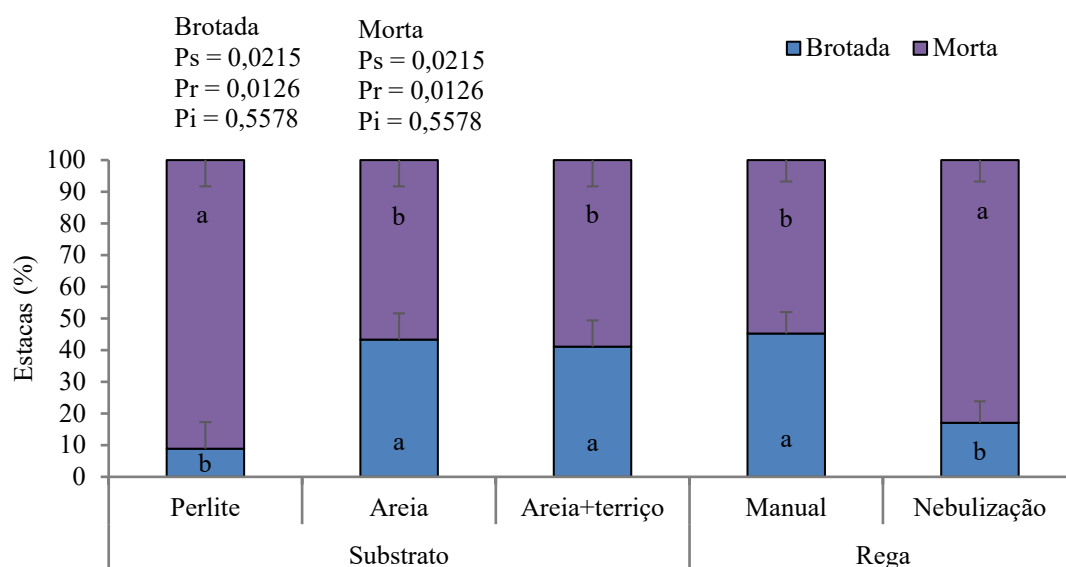


Figura 13. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato × rega.

3.2.2- Crescimento da parte aérea

3.2.2.1- Comprimento do maior broto

O comprimento do maior broto reflete o nível de desenvolvimento vegetativo e o vigor da parte aérea das estacas. Na Figura 14 apresentam-se os valores médios desta variável em função dos diferentes substratos e dos métodos de rega aplicados. O comprimento do maior broto não apresentou variação significativa entre os tratamentos. Entre os substratos, a perlite e a areia+terriço apresentaram valores ligeiramente superiores, enquanto a areia registou os menores valores, todavia sem diferenças significativas. Relativamente aos métodos de rega, a rega manual apresentou os maiores valores médios, embora não diferindo significativamente da nebulização.

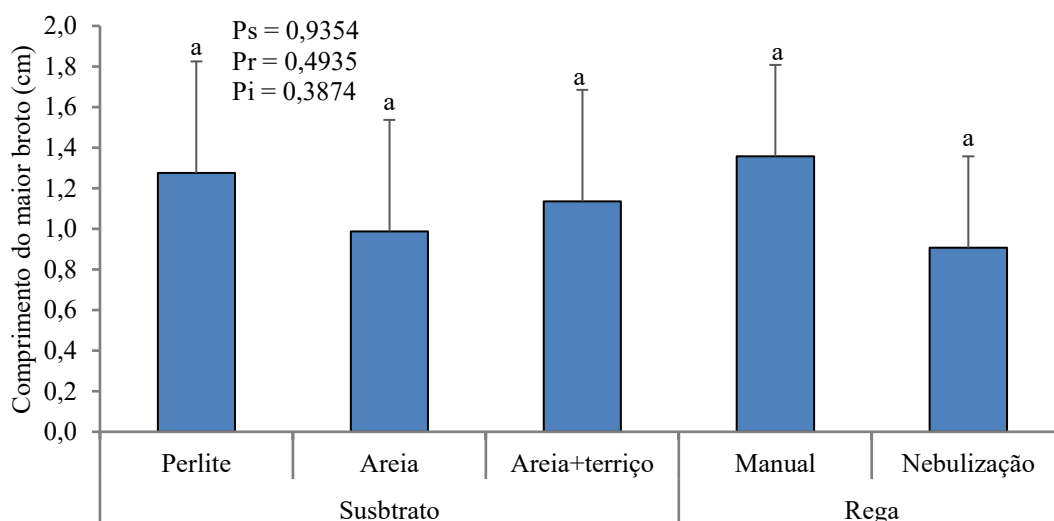


Figura 14. Comprimento do maior broto em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.2.2.2- Massa seca dos brotos

A massa seca dos brotos representa a biomassa efetivamente acumulada após a eliminação da água, constituindo um indicador do crescimento e do desenvolvimento da parte aérea. A Figura 15 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos aplicados. Observaram-se diferenças significativas na massa seca dos brotos entre os tratamentos. Entre os substratos, a areia+terriço apresentou os valores mais elevados, a areia

valores intermédios, diferindo os valores de areia+terriço significativamente dos da perlite, que evidenciou os valores mais baixos.

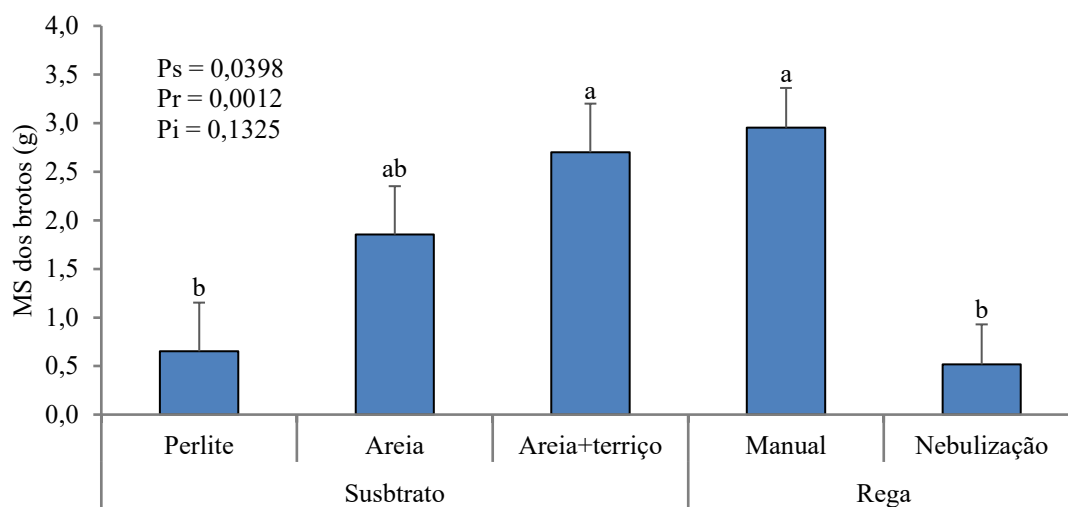


Figura 15. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. P_s , P_r e P_i correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

Relativamente aos métodos de rega, a rega manual evidenciou os maiores valores, diferindo significativamente da nebulização que apresentou valores mais reduzidos.

3.2.3- Desenvolvimento radicular

3.2.3.1- Número de raízes por estaca

O número de raízes é um indicador essencial na avaliação da capacidade de enraizamento das estacas. Na Figura 16 encontram-se representados os valores médios deste parâmetro de acordo com os diferentes tratamentos.

Entre os substratos, a areia e a areia+terriço apresentaram valores médios mais elevados que a perlite, que evidenciou os menores valores, todavia, sem diferenças significativas entre os tratamentos.

Relativamente aos métodos de rega, a rega manual apresentou o maior número de raízes, diferindo significativamente da nebulização, que evidenciou os valores mais baixos.

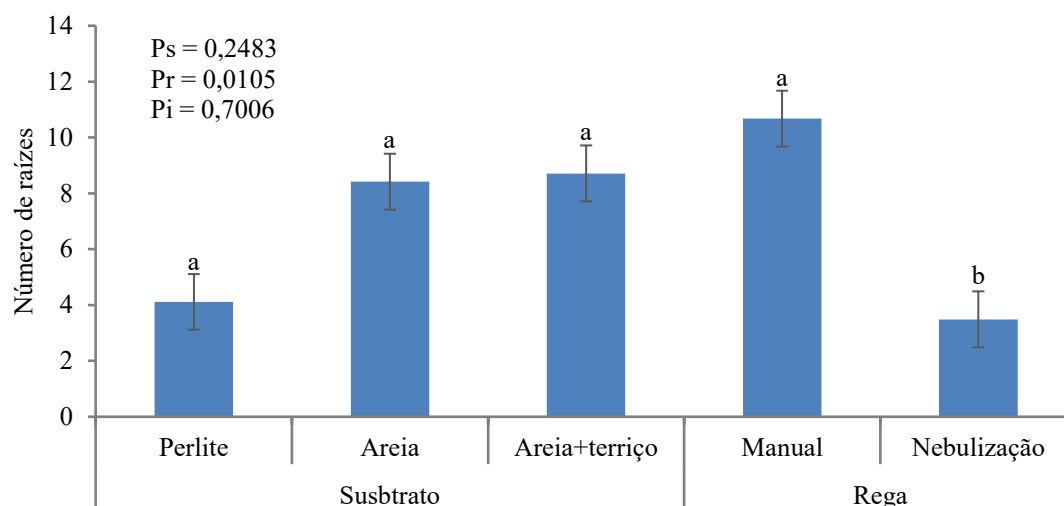


Figura 16. Número de raízes por estaca de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem erro padrão das médias. P_s , P_r e P_i correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.2.3.2- Comprimento da maior raiz

A extensão da maior raiz é um indicador de crescimento radicular em profundidade e da eficiência na exploração do substrato. Na Figura 17 estão representados os valores médios deste parâmetro para cada tratamento.

O comprimento da maior raiz não apresentou variação significativa entre os tratamentos avaliados.

Entre os substratos, a perlite e a areia+terriço evidenciaram valores médios mais elevados, enquanto a areia apresentou os menores valores, mas sem diferenças significativas.

Relativamente aos métodos de rega, a rega manual apresentou os maiores valores médios, mas sem diferenças significativas para a nebulização.

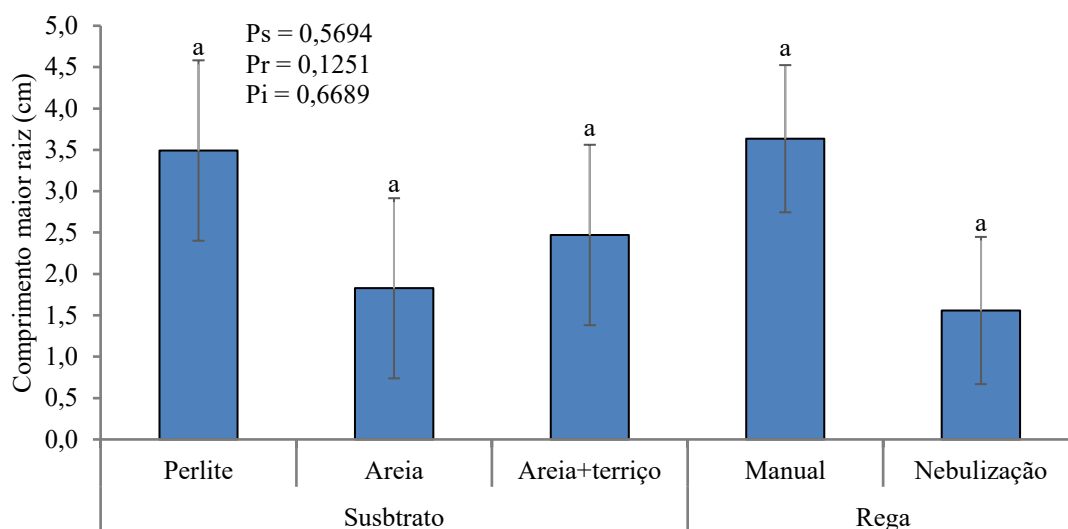


Figura 17. Comprimento da maior raiz em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.2.3.3- Comprimento total de raízes

A avaliação do desenvolvimento global do sistema radicular pode ser feita através do comprimento total das raízes. A Figura 18 mostra os valores médios obtidos para este parâmetro nos diferentes tratamentos.

Pela Figura 18 observou-se variação entre os tratamentos, com diferenças significativas entre métodos de rega.

Entre os substratos, a areia+terriço apresentou valores médios superiores, seguida da areia, enquanto a perlite apresentou valores médios mais baixos, porém sem diferenças significativas entre os tratamentos.

Quanto à rega, o método manual apresentou os maiores valores, diferindo significativamente da nebulização, que evidenciou os menores valores.

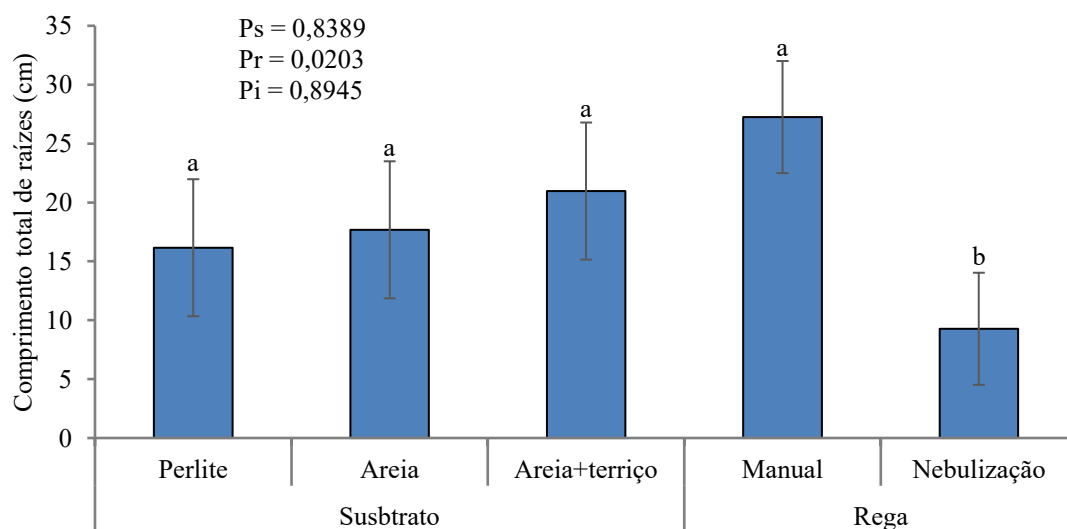


Figura 18. Comprimento total das raízes em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

3.2.3.4- Massa seca das raízes

A biomassa radicular, expressa pela massa seca das raízes após a remoção da água, é um indicador da robustez do sistema radicular. Na Figura 19 encontram-se os valores médios obtidos nos diferentes tratamentos.

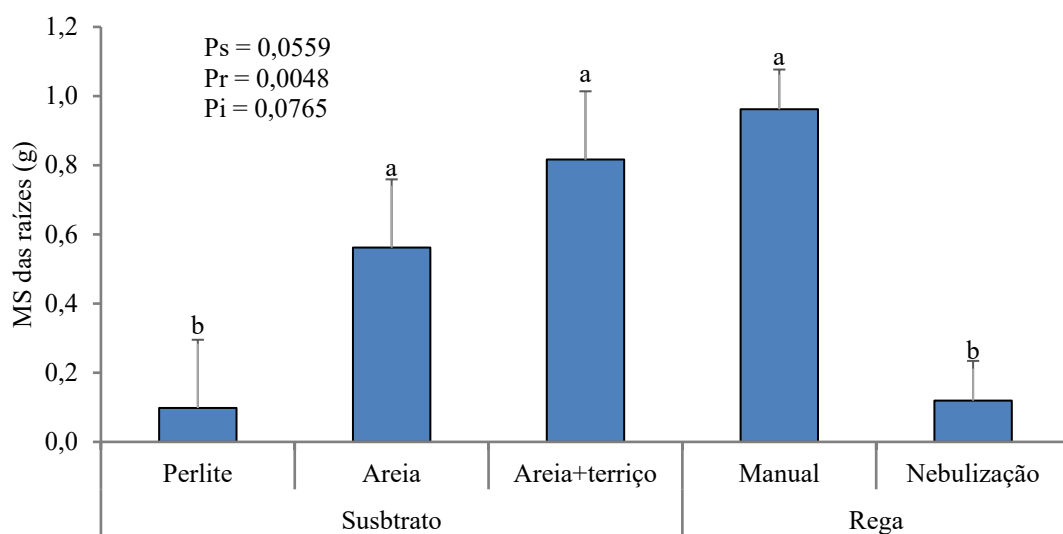


Figura 19. Massa seca (MS) das raízes em estacas de loureiro em função do tipo de substrato e método de rega. Para cada fator (substrato ou rega), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator substrato (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey

HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ rega.

A massa seca das raízes apresentou variação entre os tratamentos (Figura 19). Entre os substratos, a areia+terriço e a areia evidenciaram valores superiores sem diferenças significativas entre si, diferindo significativamente da perlite que apresentou os valores mais baixos. Relativamente aos métodos de rega, a rega manual apresentou valores mais elevados, diferindo significativamente da nebulização, que evidenciou valores reduzidos.

3.3- Ensaio fatorial Substrato $\times$ Hormonas em oliveira

3.3.1- Viabilidade geral das estacas

A viabilidade das estacas foi classificada em três categorias: estacas brotadas, estacas vivas (hidratadas) sem brotação e estacas mortas. A distribuição percentual destas categorias, de acordo com os substratos e tratamentos hormonais aplicados, encontra-se ilustrada na Figura 20.

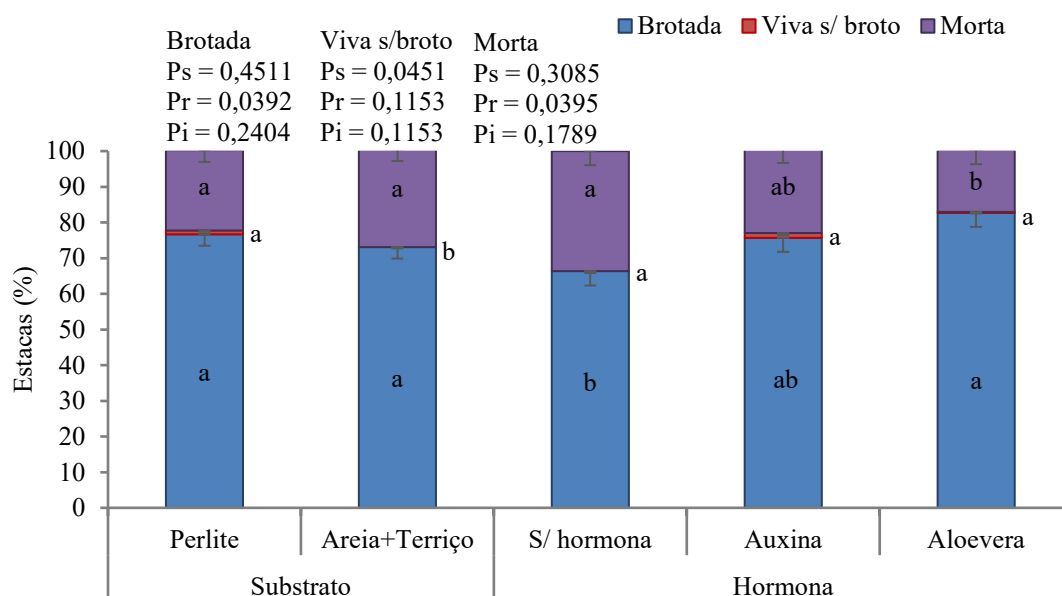


Figura 20. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona) e categoria de resposta das estacas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

Verificou-se uma elevada percentagem de estacas brotadas em todos os tratamentos, indicando boa viabilidade geral das estacas (Figura 20). Entre os substratos, a perlite e a areia+terriço apresentaram valores elevados de estacas brotadas, sem diferenças significativas entre tratamentos.

Considerando as estacas mortas, também não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos. Os valores das estacas vivas sem brotos, ainda que com valores muito baixos, a perlite apresentou valores significativamente mais elevados que areia+terriço.

Relativamente aos tratamentos hormonais, a aplicação de aloé vera e de auxina apresentou valores elevados de estacas brotadas, enquanto o tratamento sem hormona evidenciou valores inferiores, diferindo significativamente de aloé vera (Figura 20). Nas estacas mortas ocorreu o inverso e nas estacas não brotadas não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos.

3.3.2- Crescimento da parte aérea

3.3.2.1- Comprimento do maior broto

A dimensão do maior broto permite avaliar o crescimento vegetativo e o vigor da parte aérea. A Figura 21 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

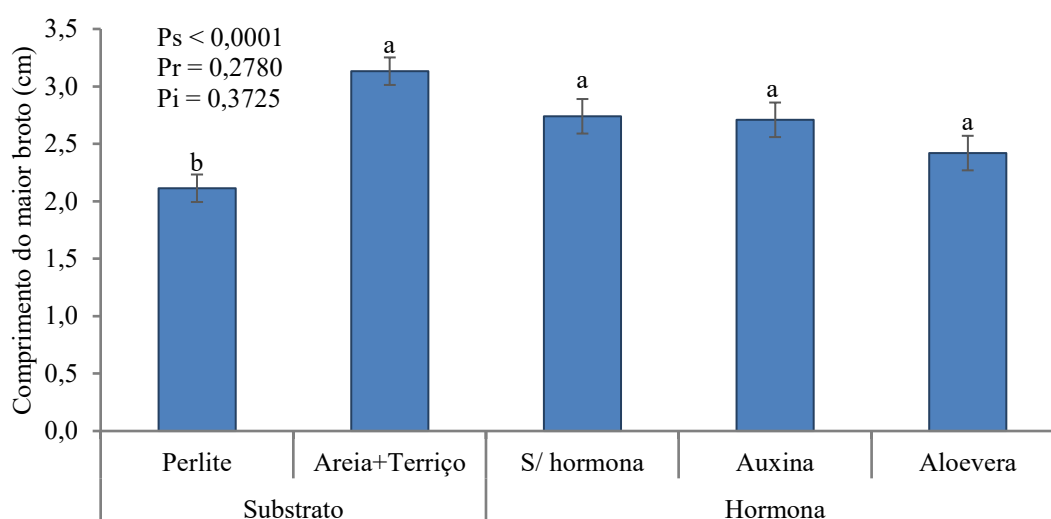


Figura 21. Comprimento do maior broto em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

Na figura 21 observa-se a variação no comprimento do maior broto entre os substratos. A areia+terriço apresentou os valores mais elevados, diferindo significativamente da perlite. Relativamente aos tratamentos hormonais, os tratamentos com auxina, aloé vera e sem hormona apresentaram valores semelhantes, com valores do tratamento sem hormona ligeiramente mais altos, porém, sem diferenças significativas.

3.3.2.2- Massa seca dos brotos

Após a eliminação da água, a massa seca dos brotos representa a biomassa acumulada, sendo um parâmetro associado ao crescimento da parte aérea. A Figura 22 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

A massa seca dos brotos apresentou variação entre os tratamentos avaliados (Figura 22). Entre os substratos, a areia+terriço apresentou os maiores valores, diferindo significativamente da perlite, que evidenciou os valores mais baixos.

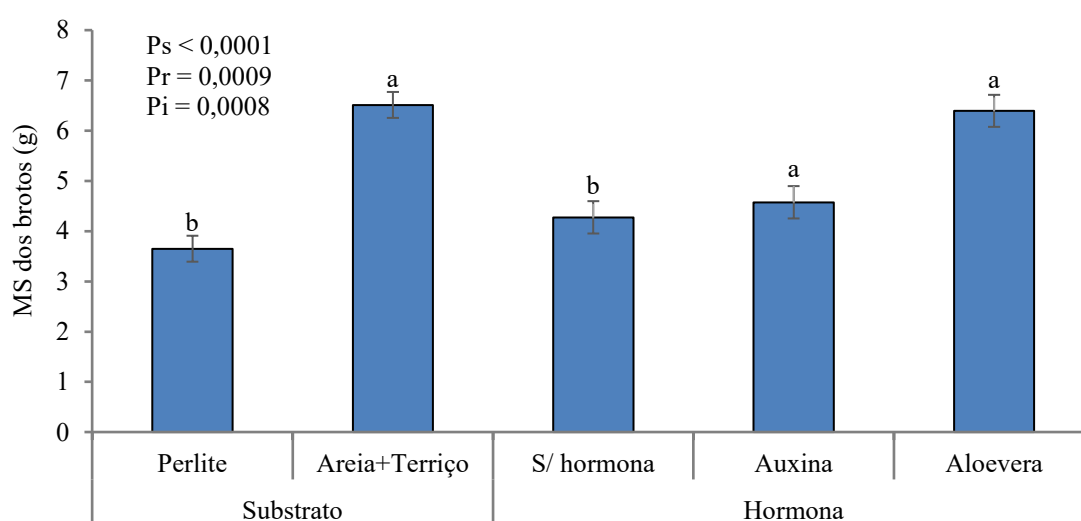


Figura 22. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de oliveira em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. P_s , P_r e P_i correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

Relativamente aos tratamentos hormonais, a aplicação de aloé vera apresentou os valores mais elevados, diferindo significativamente dos tratamentos com auxina e sem hormona (Figura 22).

3.3.3- Desenvolvimento radicular

3.3.3.1- Número de raízes por estaca

O número de raízes é um parâmetro essencial na avaliação da capacidade de enraizamento. A Figura 23 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos. Verificou-se variação no número de raízes entre os tratamentos. Entre os substratos, a perlite apresentou os valores elevados, diferindo significativamente da areia+terriço que evidenciou valores inferiores. Relativamente aos tratamentos hormonais, a aplicação de aloé vera e de auxina apresentou valores superiores ao tratamento sem hormona, mas sem diferenças significativas entre si.

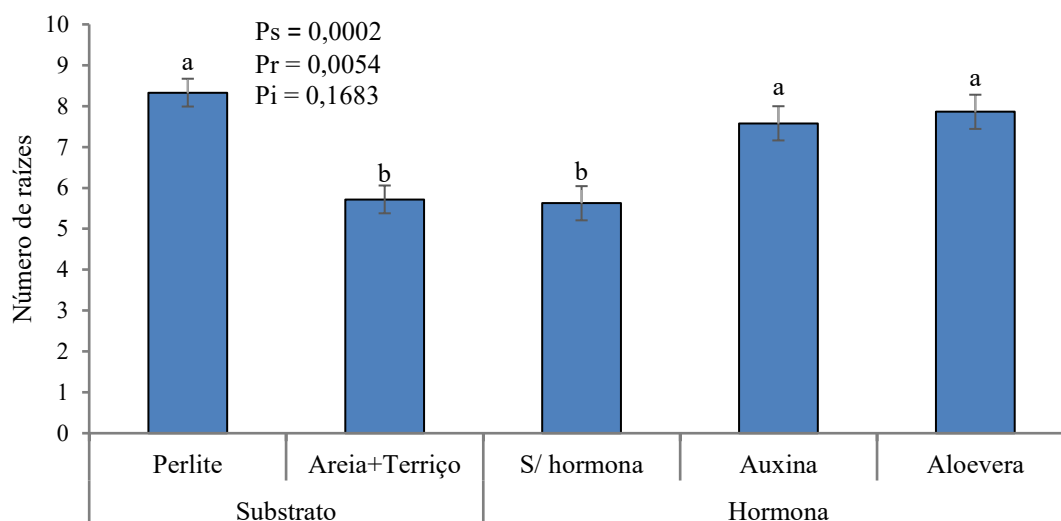


Figura 23. Número de raízes por estaca de oliveira sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

3.3.3.2- Comprimento da maior raiz

O comprimento da maior raiz reflete o crescimento radicular em profundidade. A Figura 24 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

Observou-se que o comprimento da maior raiz apresentou valores elevados e relativamente uniformes entre os tratamentos, sem diferenças significativas entre substratos ou entre tratamentos hormonais (Figura 24).

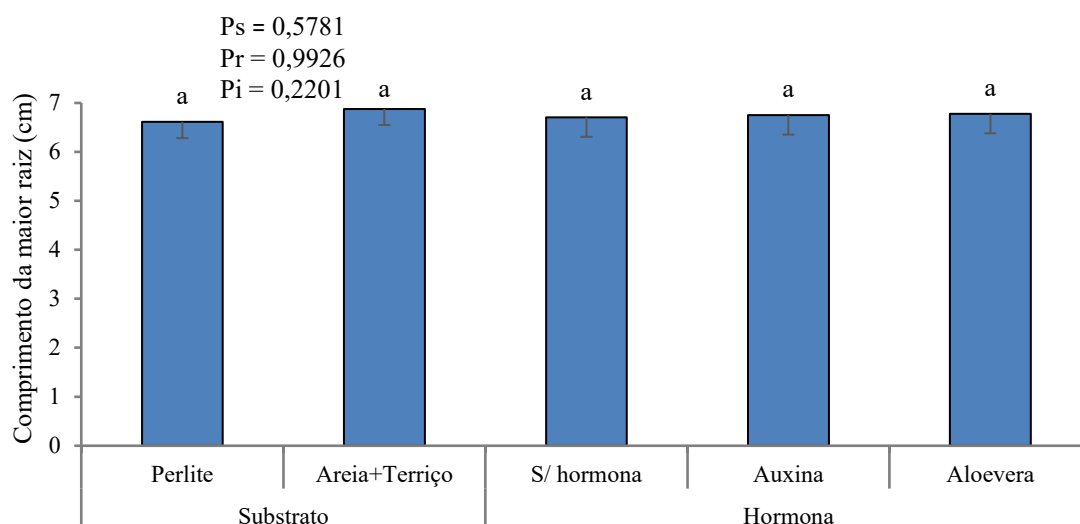


Figura 24. Comprimento da maior raiz (cm) em estacas de oliveira em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

3.3.3.3- Comprimento total de raízes

O comprimento total das raízes representa o desenvolvimento global do sistema radicular. A Figura 25 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

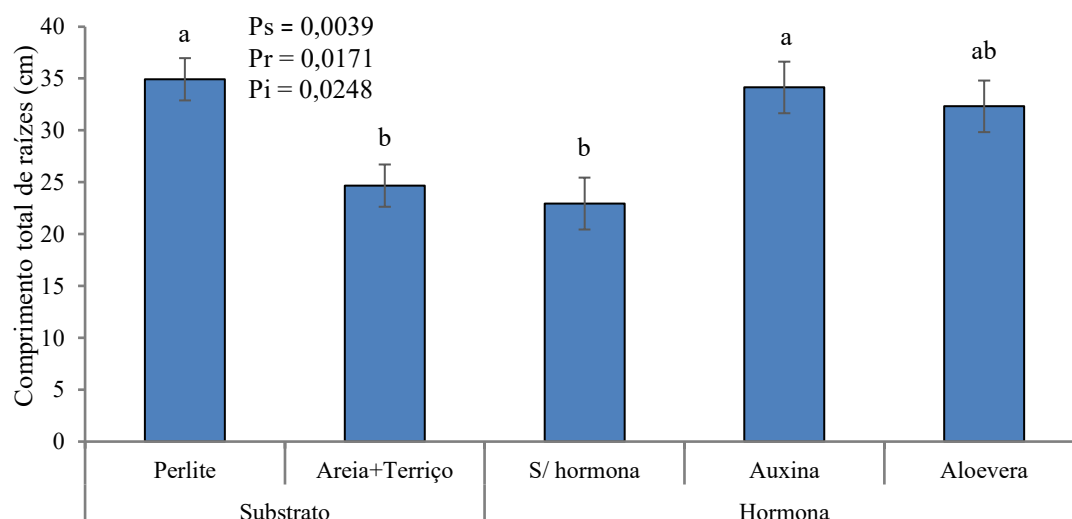


Figura 25. Comprimento total das raízes em estacas de oliveira sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias com diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi

correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

Verificou-se variação no comprimento total das raízes entre os tratamentos (Figura 25). Entre os substratos, a perlite apresentou valores elevados, enquanto a areia+terriço evidenciou valores mais baixos, diferindo significativamente da perlite. Relativamente aos tratamentos hormonais, a auxina apresentou valores elevados, seguida de aloé vera, enquanto o tratamento sem hormona apresentou os menores valores, diferindo significativamente da auxina.

3.3.3.4- Massa seca das raízes

A robustez do sistema radicular pode ser avaliada através da massa seca das raízes, que corresponde à biomassa acumulada após a eliminação da água. Na Figura 26 estão representados os valores médios deste parâmetro para cada tratamento.

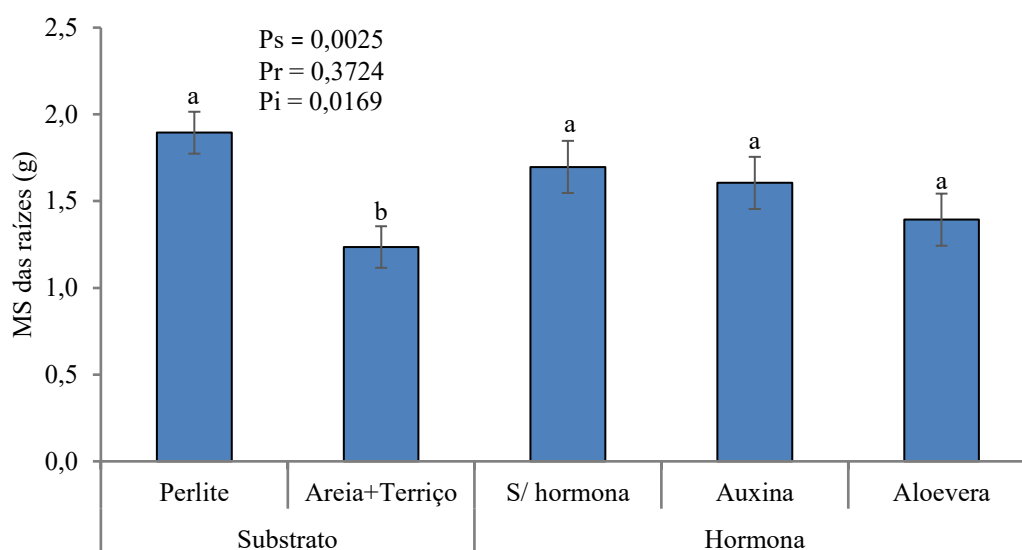


Figura 26. Massa seca (MS) das raízes em estacas de oliveira em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

A massa seca das raízes apresentou variação entre os tratamentos (Figura 26). Entre os substratos, a perlite apresentou os maiores valores, diferindo significativamente da areia+terriço que evidenciou valores mais baixos. Relativamente aos tratamentos hormonais, os valores

foram relativamente próximos entre auxina, aloé vera e sem hormona, com ligeira superioridade para a auxina, mas não diferindo significativamente dos demais tratamentos.

3.4- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro

3.4.1- Viabilidade geral das estacas

A análise da viabilidade das estacas baseou-se na distinção entre estacas brotadas e estacas mortas. A Figura 27 mostra a distribuição percentual destas categorias considerando os diferentes substratos e tratamentos hormonais.

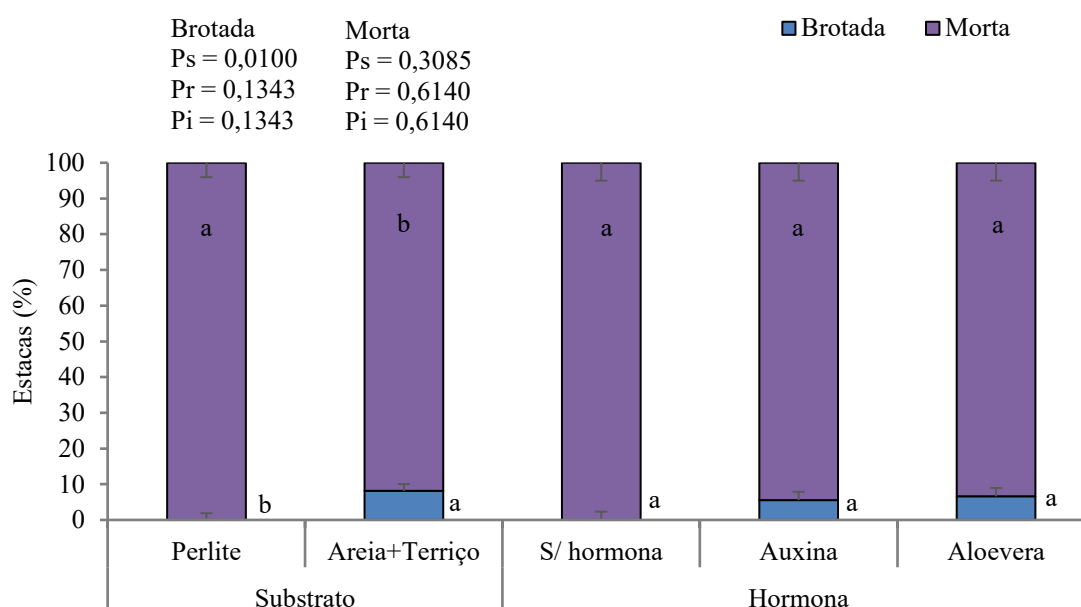


Figura 27. Distribuição percentual da viabilidade geral das estacas de loureiro em função do tipo de substrato e da aplicação de hormonas. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato × hormona.

Verificou-se uma percentagem muito elevada de estacas mortas em todos os tratamentos, evidenciando uma baixa sobrevivência global das estacas (Figura 27). A percentagem de estacas brotadas foi reduzida em todos os casos, com valores significativamente mais elevados nos tratamentos com areia+terriço, diferindo significativamente da perlite. Com o substrato perlite, nenhuma estaca sobreviveu. A auxina e aloé vera apresentaram valores mais

elevados comparados ao tratamento sem hormona. Neste tratamento não enraizou nenhuma estaca. O que sobressai nestes resultados é a mortalidade dominante em todas as condições avaliadas.

3.4.2- Crescimento da parte aérea

3.4.2.1- Comprimento do maior broto

O comprimento do maior broto é um indicador do crescimento vegetativo das estacas. A Figura 28 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

No tratamento com perlite não enraizou qualquer estaca, pelo que o valor é nulo. Assim, observaram-se diferenças significativas entre os substratos. Relativamente aos tratamentos hormonais, as estacas que não receberam hormona não enraizaram.

Com a aplicação de auxina os valores foram ligeiramente mais elevados do que com aloé vera, mas sem diferenças significativas.

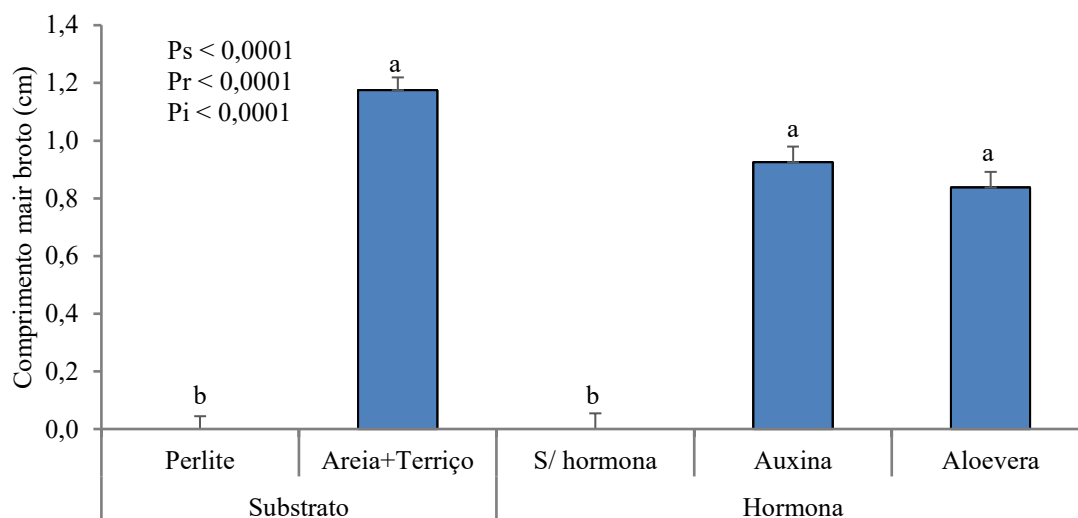


Figura 28. Comprimento do maior broto em estacas de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

3.4.2.2- Massa seca dos brotos

O crescimento da parte aérea é refletido pela massa seca dos brotos, que representa a biomassa acumulada após a eliminação da água. A Figura 29 mostra os valores médios observados para os diferentes tratamentos.

A produção de massa seca dos brotos foi reduzida, sendo nula em alguns tratamentos. Assim, os valores de areia+terriço foram significativamente mais elevados que os da perlite em que nenhuma estaca enraizou.

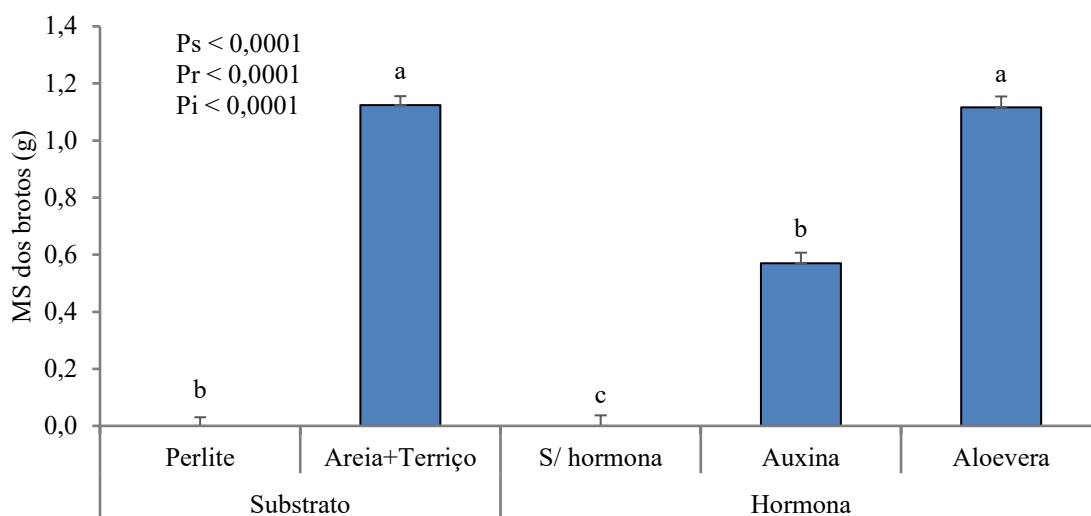


Figura 29. Massa seca (MS) dos brotos em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão das médias. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

No tratamento sem hormona também não enraizou nenhuma estaca. Entre auxina e aloé vera verificaram-se diferenças significativas, sendo mais elevados os valores com aloé vera.

3.4.3- Desenvolvimento radicular

3.4.3.1- Número de raízes por estaca

O número de raízes é um dos principais indicadores utilizados na avaliação do enraizamento. Os valores médios deste parâmetro estão apresentados na Figura 30 para os diferentes tratamentos. Verificou-se que a formação de raízes foi muito limitada, com ausência

de enraizamento em alguns tratamentos. Entre os substratos, apenas a areia+terriço apresentou formação de raízes, enquanto na perlite e no tratamento sem hormona não se observaram raízes.

Ainda relativamente aos tratamentos hormonais, a auxina apresentou maior número médio de raízes, seguida do aloé vera e sem diferenças significativas, enquanto o tratamento sem hormona não evidenciou enraizamento.

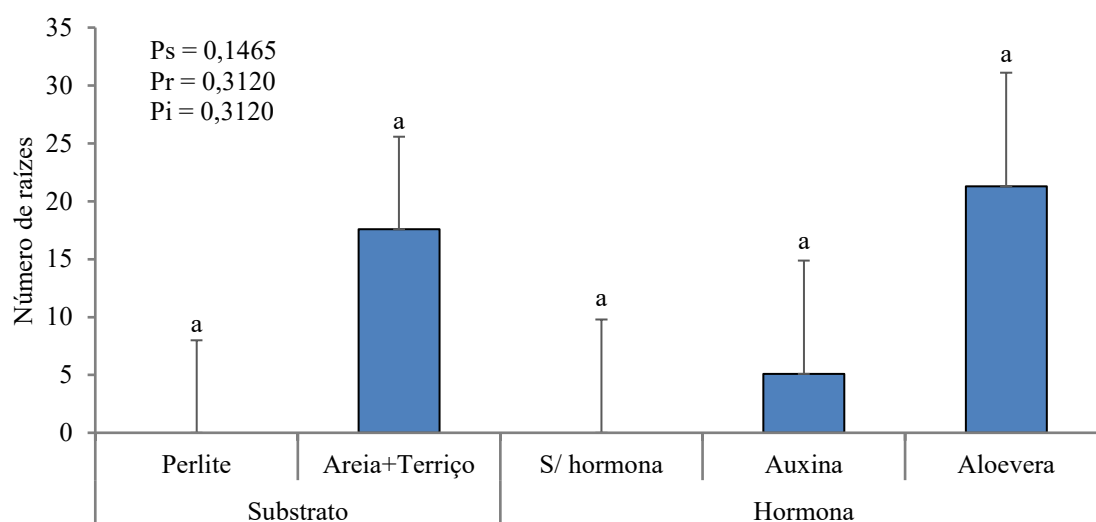


Figura 30. Número de raízes por estaca de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média Ps, Pr e Pi correspondem, respetivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

3.4.3.2- Comprimento da maior raiz

O desenvolvimento em profundidade do sistema radicular é evidenciado pelo comprimento da maior raiz. A Figura 31 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

Observou-se que o crescimento radicular foi reduzido e inexistente em alguns tratamentos (Figura 31). Entre os substratos, apenas a areia+terriço apresentou valores mensuráveis, enquanto na perlite e no tratamento sem hormona não se verificou desenvolvimento radicular. Relativamente aos tratamentos hormonais, a auxina apresentou os maiores valores, seguida do aloé vera e com diferenças significativas, enquanto o tratamento sem hormona não apresentou plantas vivas.

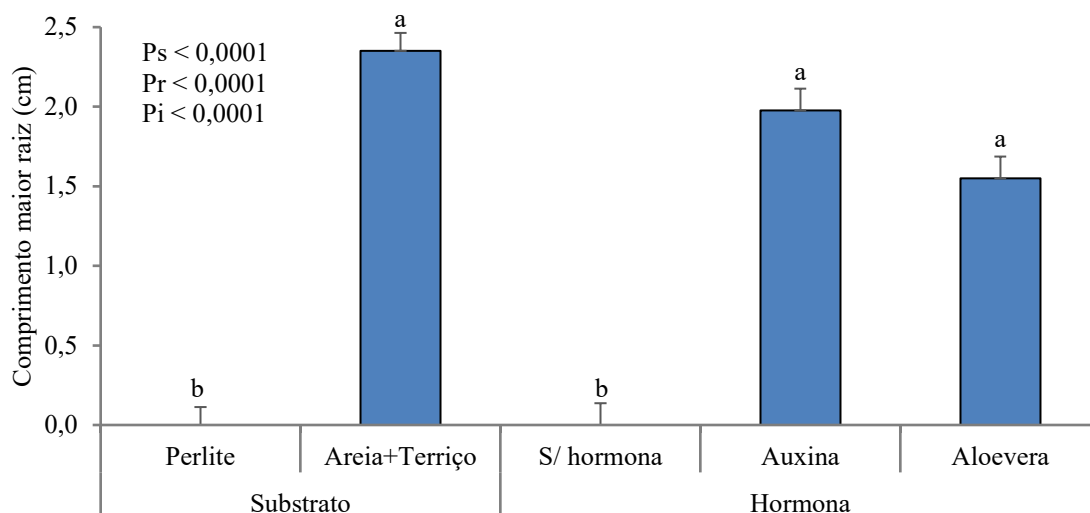


Figura 31. Comprimento da maior raiz em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

3.4.3.3- Comprimento total de raízes

O estado geral de desenvolvimento do sistema radicular é refletido pelo comprimento total das raízes. A Figura 32 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

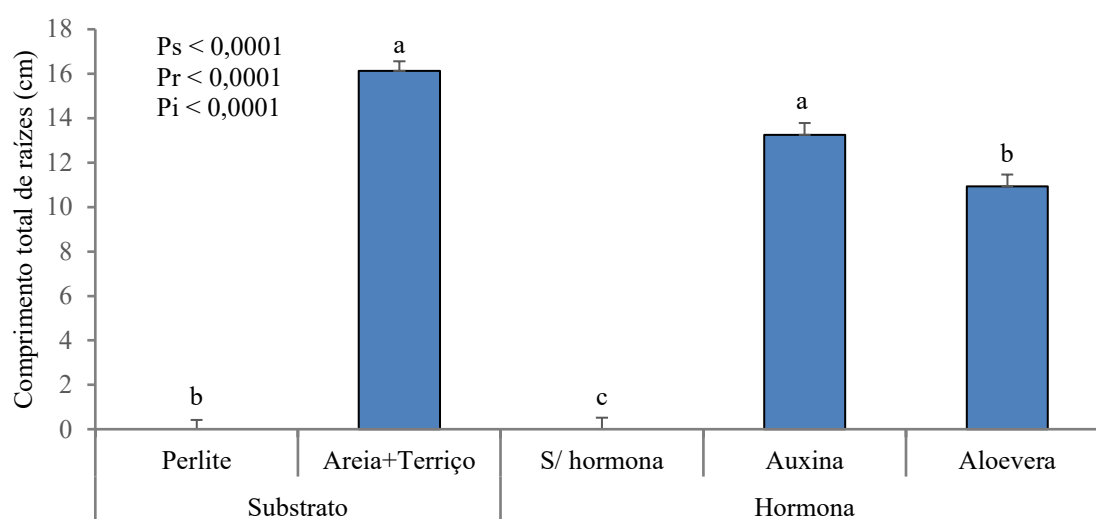


Figura 32. Comprimento total das raízes em estacas de loureiro sob diferentes substratos e tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas

pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

Entre os substratos, a areia+terriço apresentou os maiores valores, já que na perlite não se observaram raízes, uma vez que nenhuma planta sobreviveu (Figura 32). Relativamente aos tratamentos hormonais, a auxina apresentou valores significativamente mais elevados que aloé vera. O tratamento sem hormona, como se tem referido, não registou plantas vivas.

3.4.3.4- Massa seca das raízes

Após a remoção da água, a biomassa radicular acumulada é quantificada pela massa seca das raízes. A Figura 33 apresenta os valores médios deste parâmetro nos diferentes tratamentos.

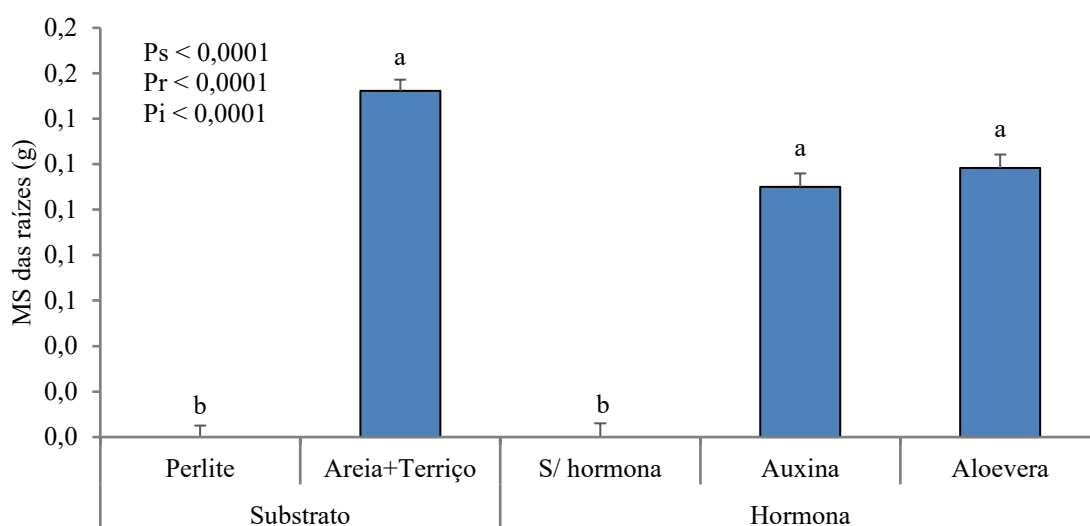


Figura 33. Massa seca (MS) das raízes em estacas de loureiro em função do substrato e dos tratamentos hormonais. Para cada fator (substrato ou hormona), médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes. Para o fator hormona (com três tratamentos), as médias sem diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média. Ps, Pr e Pi correspondem, respectivamente, às probabilidades associadas aos efeitos do substrato, da rega e da interação substrato $\times$ hormona.

A produção de biomassa radicular foi muito reduzida, sendo inexistente em alguns tratamentos por não terem vingado plantas. Entre os substratos, apenas a areia+terriço apresentou valores mensuráveis. Relativamente aos tratamentos hormonais, auxina e aloé vera apresentaram valores sem diferenças significativas entre eles. O tratamento sem hormona não evidenciou produção de biomassa radicular.

IV- DISCUSSÃO

4.1- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira

Os resultados do ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira mostraram que o substrato e o método de rega desempenharam um papel fundamental na propagação de estacas de oliveira, influenciando tanto o crescimento vegetativo como o desenvolvimento radicular. A interação significativa observada em vários parâmetros, principalmente nas estacas brotadas e mortas, confirma que estes fatores não atuam de forma isolada, antes interagem influenciando a resposta das estacas a ambos os tratamentos (Figura 6).

Segundo Fachinello et al. (2011), o sucesso da propagação vegetativa depende fortemente das condições físicas do substrato e do adequado fornecimento de água, uma vez que estes fatores regulam processos fisiológicos essenciais à formação de raízes adventícias. Da mesma forma, Diaz-Sala (2021) refere que a rizogênese em espécies lenhosas, depende das condições ambientais e do equilíbrio hídrico durante as fases iniciais do enraizamento.

A influência significativa do substrato e da rega na percentagem de estacas brotadas e mortas indica que as propriedades físicas do meio de enraizamento e a disponibilidade de água foram fundamentais para a manutenção da viabilidade das estacas. Segundo Jorge (2020), substratos com adequada porosidade favorecem ao mesmo tempo a retenção de água e a oxigenação radicular, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento inicial das estacas. Resultados semelhantes foram apresentados por Shiri et al. (2019) e Lee et al. (2025), que verificaram melhoria significativa no enraizamento e desenvolvimento vegetativo de estacas propagadas em substratos com elevado arejamento e equilíbrio hídrico.

Além disso, a disponibilidade adequada de água durante a propagação é essencial para evitar déficit hídrico e manter a turgescência celular necessária à brotação e emissão de raízes. Fernández (2014) destaca que a oliveira, embora relativamente tolerante ao déficit hídrico em campo, apresenta elevada sensibilidade nas fases iniciais da propagação vegetativa, especialmente antes da formação de raízes.

Como se observa no Quadro 2, verificou-se elevada variação na viabilidade das estacas entre as combinações substrato × rega, evidenciando interação significativa entre os fatores. O substrato areia+terriço apresentou o comportamento mais contrastante, registando sob rega

manual a menor percentagem de brotação (20,0%) e a maior mortalidade (69,3%), enquanto sob nebulização apresentou a maior taxa de brotação (80,7%) e a menor mortalidade (13,3%).

Estes resultados indicam que o desempenho deste substrato depende diretamente do regime hídrico aplicado, sugerindo forte influência da disponibilidade de água e da oxigenação do meio na sobrevivência das estacas. Do ponto de vista fisiológico, a presença do terriço pode ter aumentado a retenção de água no substrato. Sob rega manual, esta condição provavelmente favoreceu o excesso de humidade. Taiz et al. (2017) e Raven et al. (2014) afirmam que a baixa oxigenação dos tecidos limita a produção de energia necessária à divisão celular e ao desenvolvimento radicular. Além disso, substratos excessivamente húmidos podem favorecer deterioração dos tecidos e aumento da mortalidade das estacas (Oliveira et al., 2008; Pimentel, 2016).

Por outro lado, a nebulização parece ter proporcionado fornecimento hídrico mais equilibrado, reduzindo perdas de água por transpiração sem provocar a saturação do substrato. Fernández (2014) destaca que a manutenção do equilíbrio hídrico é essencial para o sucesso da propagação da oliveira, especialmente antes da formação de raízes funcionais. Resultados semelhantes foram descritos por Awotedu et al. (2021) e Kamara et al. (2025), que referem que o sucesso da propagação vegetativa depende da interação entre características físicas do substrato e manejo da humidade.

O substrato areia apresentou comportamento mais estável entre os métodos de rega, com elevada brotação tanto sob rega manual (59,3%) como sob nebulização (78,7%) e menores variações na mortalidade. Este comportamento pode estar relacionado com a elevada macroporosidade da areia, que favorece drenagem, circulação de ar e menor suscetibilidade à compactação e saturação hídrica. De acordo com Jorge (2020) e Sampaio (2011), substratos com maior arejamento tendem a proporcionar ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular e manutenção da viabilidade das estacas.

4.1.1- Substratos

4.1.1.1- Perlite

A perlite apresentou comportamento relativamente equilibrado na propagação das estacas de oliveira, evidenciando valores intermédios de brotação e mortalidade em comparação com os restantes substratos. Apesar de não ter promovido os maiores valores de crescimento

vegetativo, este substrato demonstrou capacidade de manter condições favoráveis à sobrevivência e ao desenvolvimento radicular das estacas, provavelmente devido às suas características físicas, como elevada porosidade, boa drenagem e adequada disponibilidade de oxigênio. Segundo Fachinello et al. (2011), substratos com elevado arejamento favorecem a manutenção da atividade metabólica e reduzem problemas associados ao excesso de umidade durante a propagação vegetativa.

Os resultados relacionados com o sistema radicular reforçam esta interpretação, observando-se tendência para maior desenvolvimento das raízes, sobretudo no número de raízes e massa seca radicular (Figuras 9 e 12). Este comportamento sugere que a elevada circulação de ar proporcionada pela perlite favoreceu a respiração celular e os processos fisiológicos envolvidos na formação de raízes adventícias.

Oliveira et al. (2008) e Pimentel (2016) destacam que a disponibilidade de oxigênio no substrato constitui fator essencial para o enraizamento da oliveira, uma vez que a iniciação e crescimento radicular exigem elevada atividade respiratória. Da mesma forma, Diaz-Sala (2021) refere que condições adequadas de oxigenação estimulam a diferenciação celular e o desenvolvimento dos primórdios radiculares.

Embora o comprimento dos brotos e a massa seca da parte aérea tenham sido inferiores aos observados na areia, a perlite apresentou melhor equilíbrio entre sobrevivência e desenvolvimento radicular, demonstrando que maior crescimento vegetativo nem sempre corresponde a maior eficiência no enraizamento. Resultados semelhantes foram observados por Gehlot et al. (2014), Shiri et al. (2019) e Lee et al. (2025), que verificaram melhor desenvolvimento radicular em substratos leves, bem drenados e com elevada circulação de oxigênio.

4.1.1.2- Areia

A areia destacou-se como um dos substratos mais favoráveis à propagação da oliveira, apresentando elevada percentagem de estacas brotadas e menor mortalidade em comparação com os restantes tratamentos (Figura 6). Este comportamento pode estar associado à elevada drenagem, baixa compactação e adequada circulação de ar, características que favorecem a respiração celular e reduzem os efeitos negativos do excesso de umidade.

Os resultados indicam que a areia proporcionou condições equilibradas para o desenvolvimento ao mesmo tempo da parte aérea e do sistema radicular, observando-se valores elevados de massa seca dos brotos (Figuras 7 e 8). A acumulação de matéria seca reflete maior eficiência fisiológica das estacas e melhor utilização dos recursos disponíveis para o crescimento vegetal. Segundo Oliveira et al. (2008), substratos com boa drenagem favorecem significativamente o enraizamento de estacas de oliveira, reduzindo limitações associadas à saturação hídrica. Barbosa e Biasi (2024) também referem que meios excessivamente húmidos podem comprometer a sobrevivência e o crescimento das estacas devido à redução da oxigenação radicular.

Além disso, a areia apresentou comportamento mais estável entre os métodos de rega, evidenciando menor sensibilidade às variações hídricas. Este resultado sugere que a elevada macroporosidade do substrato contribuiu para manter condições mais constantes de arejamento e disponibilidade de água, favorecendo o metabolismo e a viabilidade das estacas.

4.1.1.3- Areia + terriço

O substrato areia+terriço apresentou os resultados com mais variações do ensaio, evidenciando forte dependência do método de rega. Sob nebulização, este tratamento promoveu elevada brotação e menor mortalidade, enquanto sob rega manual apresentou baixa viabilidade e elevada percentagem de estacas mortas. Estes resultados demonstram que o efeito do substrato depende diretamente do equilíbrio hídrico proporcionado pelo sistema de rega. A presença do terriço provavelmente aumentou a retenção de água no substrato, condição que pode ter sido favorável sob nebulização, devido ao fornecimento mais equilibrado de humidade. Contudo, sob rega manual, a maior retenção hídrica pode ter favorecido saturação do meio e redução da disponibilidade de oxigénio, comprometendo a respiração celular e o desenvolvimento radicular.

De acordo com os trabalhos de Barbosa e Biasi (2024), o equilíbrio entre água e ar no substrato é fundamental para o sucesso do enraizamento, uma vez que baixos níveis de oxigenação limitam a formação de raízes adventícias. Resultados semelhantes foram descritos por Awotedu et al. (2021) e Kamara et al. (2025), que destacam a importância da interação entre substrato e manejo hídrico na sobrevivência e crescimento das estacas.

Observou-se ainda que o substrato areia+terriço apresentou elevados valores de comprimento dos brotos, mas reduzida massa seca da parte aérea, indicando que o crescimento

em extensão não foi acompanhado por proporcional acumulação de biomassa. Este comportamento sugere predominância de alongamento celular em detrimento da formação estrutural dos tecidos. Embora o terriço apresente maior disponibilidade de nutrientes, a sua utilização eficiente depende da adequada atividade radicular e da oxigenação do substrato. Aryan et al. (2023) referem que materiais orgânicos podem favorecer o crescimento vegetativo quando associados a condições adequadas de humidade e arejamento.

4.2- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro

De forma geral, o loureiro apresentou resposta menos favorável à propagação por estacas, caracterizada por elevada mortalidade e reduzido enraizamento. A elevada percentagem de estacas mortas indica que as condições experimentais utilizadas não foram suficientemente adequadas para promover o enraizamento da espécie (Figura 13).

A reduzida capacidade de enraizamento observada no loureiro pode estar relacionada com limitações fisiológicas e genéticas próprias da espécie, uma vez que a propagação vegetativa em plantas lenhosas apresenta elevada variabilidade entre genótipos. Nazir et al. (2020) referem que a resposta ao enraizamento depende fortemente das características genéticas e da capacidade fisiológica de formação de raízes adventícias. Barbosa e Biasi (2024) também observaram diferenças significativas na capacidade de enraizamento entre híbridos de videira, reforçando a influência do fator genético na propagação vegetativa.

Além disso, Diaz-Sala (2021) destaca que espécies lenhosas apresentam diferentes níveis de competência rizogénica, sendo que algumas possuem menor capacidade de diferenciação celular e de emissão de raízes adventícias sob determinadas condições ambientais. Assim, os resultados obtidos sugerem que o loureiro apresenta maior exigência quanto às condições de substrato e ao manejo da irrigação quando comparado à oliveira.

4.2.1- Substratos

4.2.1.1- Perlite

No loureiro, a perlite apresentou uma capacidade inferior quando comparada a areia e areia+terriço, particularmente ao nível da brotação, crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular. A reduzida retenção ou a capacidade de equilibrar o teor de água, que é uma das

características deste substrato, pode ter limitado a manutenção do estado hídrico das estacas, comprometendo os processos metabólicos necessários à emissão de raízes e brotos (Figura 13).

Os baixos valores observados para massa seca dos brotos, número de raízes e comprimento radicular sugerem menor capacidade de desenvolvimento geral das estacas neste meio (Figuras 15 e 16).

Shiri et al. (2019) observaram que meios com excessiva capacidade de drenagem podem limitar o desenvolvimento de algumas espécies ornamentais devido à menor disponibilidade hídrica contínua. Keerthivasan et al. (2024) também verificaram que espécies com maior exigência hídrica respondem melhor a substratos capazes de manter umidade mais estável.

4.2.1.2- Areia

A areia proporcionou melhoria significativa da viabilidade das estacas de loureiro em comparação com a perlite, evidenciando maior percentagem de brotação e melhor desenvolvimento vegetativo e radicular (Figura 13). Estes resultados sugerem que este substrato ofereceu equilíbrio mais adequado entre drenagem, retenção hídrica e circulação de oxigênio, favorecendo as condições fisiológicas necessárias ao estabelecimento das estacas.

Os maiores valores de massa seca dos brotos e de número de raízes indicam maior eficiência metabólica e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para o crescimento estrutural das estacas (Figuras 15 e 16). Segundo Awotedu et al. (2021), substratos fisicamente equilibrados tendem a favorecer simultaneamente a sobrevivência e o desenvolvimento vegetativo, sobretudo quando mantêm adequada disponibilidade de água sem comprometer o arejamento do sistema radicular.

4.2.1.3- Areia + terriço

O substrato resultante da mistura areia+terriço apresentou os melhores resultados globais para o loureiro, particularmente ao nível do crescimento vegetativo e do desenvolvimento radicular (Figuras 15 e 19). O aumento da massa seca, do comprimento radicular e do vigor geral das estacas sugere que esta espécie beneficiou da maior retenção de água e da possível disponibilidade de nutrientes proporcionada pelo terriço.

Kamara et al. (2025) verificaram comportamento semelhante em espécies florestais propagadas em substratos com maior capacidade de retenção de água. Aryan et al. (2023)

também observaram melhoria do crescimento vegetativo em meios contendo materiais orgânicos.

4.3- Ensaio fatorial Substrato × Rega em oliveira

4.3.1. Rega

4.3.1.1- Nebulização

A nebulização destacou-se como o método de rega mais eficiente para a propagação da oliveira, promovendo maior percentagem de estacas brotadas e menor mortalidade em comparação com a rega manual (Figura 6). Estes resultados demonstram a importância da manutenção da humidade relativa durante a fase inicial do enraizamento, sobretudo em estacas com reduzida capacidade de absorção de água. O sistema de nebulização provavelmente reduziu as perdas de água por transpiração, mantendo a turgescência celular e prolongando a viabilidade fisiológica das estacas até à formação de raízes adventícias.

De acordo com Oliveira et al. (2008) e Pimentel (2016), a nebulização constitui uma das práticas mais importantes na propagação da oliveira, pois contribui para reduzir o stresse hídrico e criar condições favoráveis ao enraizamento. Guimarães (2008) e Taiz et al. (2017) também referem que a manutenção do equilíbrio hídrico é essencial para a continuidade da atividade metabólica e da divisão celular durante a propagação vegetativa.

Os efeitos positivos da nebulização foram mais evidentes na interação com o substrato areia+terriço, no qual se observaram maiores valores de crescimento vegetativo e radicular (Figuras 7, 10 e 11). Este comportamento sugere que a nebulização favoreceu melhor equilíbrio entre retenção de água e oxigenação do substrato, evitando simultaneamente défice hídrico e saturação do substrato. Estes resultados são semelhantes aos reportados por Gehlot et al. (2014), Kamara et al. (2025) e Zhang et al. (2025), que observaram melhoria significativa na sobrevivência e de desenvolvimento de estacas sob condições de humidade controlada.

4.3.1.2- Rega manual

A rega manual mostrou menor eficiência na propagação da oliveira, evidenciando menor percentagem de brotação e maior mortalidade das estacas em comparação com a

nebulização (Figura 6). Este comportamento pode estar associado ao intervalo entre aplicações de água e às variações da disponibilidade hídrica no substrato ao longo do período experimental. Ao contrário da nebulização, a rega manual pode favorecer alternância entre excesso e déficit hídrico, comprometendo a estabilidade fisiológica das estacas e o processo de enraizamento. Estes efeitos foram mais evidentes no substrato areia+terriço, onde a maior retenção de água provavelmente reduziu o arejamento e limitou a atividade radicular. Segundo Pimentel (2016), baixos níveis de oxigenação no substrato comprometem a formação de raízes adventícias em oliveira. Taiz et al. (2017) e Diaz-Sala (2021) também referem que a adequada disponibilidade de oxigénio é essencial para os processos metabólicos envolvidos na rizogénese.

Apesar da menor eficácia global, a areia apresentou comportamento relativamente mais estável sob rega manual, provavelmente devido à sua elevada drenagem e menor suscetibilidade à saturação hídrica (Figura 6). Resultados semelhantes foram descritos por Barbosa e Biasi (2024) e Kamara et al. (2025), que observaram melhor desenvolvimento de estacas em substratos com maior macroporosidade e equilíbrio entre água e ar.

4.4- Ensaio fatorial Substrato × Rega em loureiro

4.4.1. Rega

4.4.1.1- Nebulização

Contrariamente ao observado na oliveira, a nebulização não favoreceu significativamente o desenvolvimento do loureiro, verificando-se em algumas variáveis redução do crescimento vegetativo e da viabilidade das estacas (Figura 13). Estes resultados sugerem que a espécie apresenta menor adaptação a condições de elevada humidade contínua durante a propagação. Este comportamento pode estar relacionado com excesso de humidade no ambiente de propagação, condição que pode reduzir a oxigenação dos tecidos e favorecer processos de deterioração vegetal.

Segundo Taiz et al. (2017) e Raven et al. (2014), ambientes excessivamente húmidos podem comprometer a respiração celular e limitar o metabolismo necessário ao desenvolvimento radicular. Diaz-Sala (2021) também refere que a resposta ao enraizamento varia significativamente entre espécies lenhosas, dependendo da tolerância fisiológica às condições ambientais. Deste modo, os resultados indicam que a eficiência dos métodos de rega

depende fortemente das características fisiológicas da espécie propagada, sendo que condições favoráveis para a oliveira não necessariamente promovem uma resposta semelhante no loureiro.

4.4.1.2- Rega manual

No loureiro, a rega manual apresentou melhores resultados em comparação com a nebulização, evidenciando maior viabilidade e melhor desenvolvimento vegetativo das estacas (Figura 13). Observou-se melhoria em variáveis relacionadas com crescimento da parte aérea e desenvolvimento radicular, sugerindo resposta fisiológica mais equilibrada sob este regime de rega (Figuras 14 e 15). Esta resposta indica que o loureiro pode apresentar maior tolerância a variações moderadas de humidade, enquanto condições continuamente húmidas tendem a ser menos favoráveis ao estabelecimento das estacas.

A rega manual provavelmente evitou excesso permanente de humidade na superfície vegetal e no substrato, favorecendo melhores condições de oxigenação e reduzindo processos de deterioração dos tecidos. Segundo Saudagar et al. (2021), o excesso de humidade em espécies sensíveis pode comprometer a viabilidade das estacas e favorecer a degradação dos tecidos. Resultados semelhantes também são descritos por Diaz-Sala (2021) e Taiz et al. (2017), que destacam a importância do equilíbrio hídrico e da adequada oxigenação durante a formação de raízes adventícias.

4.5- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em oliveira

4.5.1- Substratos

4.5.1.1- Comparação perlite × areia + terriço

No ensaio Substrato × Hormonas em oliveira não se observaram diferenças estatisticamente significativas na viabilidade geral das estacas entre perlite e areia+terriço (Figura 20). Contudo, verificaram-se diferenças significativas em variáveis relacionadas com o crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular. A perlite apresentou tendência para maior desenvolvimento radicular, sobretudo na massa seca das raízes, resultado provavelmente associado à elevada porosidade e à melhor circulação de oxigénio no substrato (Figuras 23 e 26). Segundo Oliveira et al. (2008), Gehlot et al. (2014) e Pimentel (2016) substratos leves e bem arejados favorecem a respiração celular e a formação de raízes adventícias.

Por outro lado, a mistura areia+terriço promoveu maior crescimento vegetativo, com valores superiores no comprimento e massa seca dos brotos, indicando maior acumulação de biomassa vegetal (Figuras 21 e 22). Este comportamento sugere que substratos com maior retenção de água e matéria orgânica podem favorecer o crescimento da parte aérea quando é mantido um adequado equilíbrio hídrico. Jorge (2020), Awotedu et al. (2021) e Barbosa e Biasi (2024) referem que a relação entre retenção de água, disponibilidade de nutrientes e arejamento influencia diretamente o desempenho fisiológico das estacas. De forma geral, os resultados demonstram que substratos mais arejados tendem a favorecer o sistema radicular, enquanto meios com maior capacidade de retenção hídrica e ricos em nutrientes podem estimular maior crescimento vegetativo e acumulação de biomassa.

4.6- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro

4.6.1- Substratos

4.6.1.1- Comparação perlite × areia + terriço

Na cultura do loureiro, a mistura areia+terriço apresentou desempenho superior em comparação com a perlite na maioria das variáveis avaliadas, com destaque para a brotação, crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular (Figura 27). Resultados semelhantes foram reportados por Jorge (2020) e Kölln (2016), que destacam que substratos com melhor equilíbrio entre retenção de água, arejamento e disponibilidade de nutrientes tendem a promover maior vigor e desenvolvimento em plantas propagadas por estacas. Sousa (2022) também refere que a presença de matéria orgânica no substrato melhora a retenção hídrica e contribui para um ambiente mais favorável ao estabelecimento inicial das plantas.

A incorporação de terriço terá aumentado a capacidade de retenção de água e a oferta de nutrientes, favorecendo o metabolismo das estacas e o crescimento inicial. Neste sentido, Faustino (2023) observou que substratos com componente orgânica promovem maior desenvolvimento radicular e melhor desempenho geral em estacas de amoreira, enquanto Hoover et al. (2025) reportaram que substratos com melhor retenção hídrica facilitam processos fisiológicos associados ao crescimento radicular. Lee et al. (2025) também verificaram que o uso de substratos com maior capacidade de retenção de água melhora o enraizamento e o vigor das estacas em espécies florestais.

Por outro lado, a perlite, apesar de melhorar o arejamento e reduzir o risco de encharcamento, pode não ter assegurado uma disponibilidade hídrica constante, limitando o desenvolvimento das estacas de loureiro. Neste contexto, Sousa (2022) refere que substratos excessivamente drenantes podem reduzir a disponibilidade de água para as estacas, comprometendo o crescimento inicial e a formação radicular.

Kamara et al. (2025) observaram respostas semelhantes em espécies florestais, destacando melhor desempenho em substratos com maior estabilidade hídrica. De igual forma, Aryan et al. (2023) reportaram efeitos positivos de meios com materiais orgânicos no crescimento e enraizamento de estacas, o que reforça os resultados obtidos neste ensaio.

4.7- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em oliveira

4.7.1- Hormonas

4.7.1.1- Aloé vera

O extrato de aloé vera apresentou desempenho satisfatório na propagação da oliveira, com resultados semelhantes ou, em algumas variáveis, superiores aos obtidos com auxina sintética, evidenciando aumentos na brotação, crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular (Figuras 22 e 23). Estes resultados estão em concordância com Abdullah et al. (2024), que observaram maior sucesso na propagação vegetativa de mangueira quando utilizaram extratos naturais de aloé vera, atribuídos ao seu efeito bioestimulante.

O desempenho observado pode estar associado à presença de compostos bioativos, aminoácidos, vitaminas e açúcares, que têm sido descritos como promotores da divisão celular, da regeneração de tecidos e do crescimento vegetal. Neste contexto, Bahgat et al. (2023) relataram que bioestimulantes naturais à base de aloé vera melhoram processos fisiológicos ligados ao crescimento e à defesa das plantas, enquanto Godlewska et al. (2021) destacaram o papel de extratos naturais como reguladores do desenvolvimento vegetal.

Observou-se ainda melhoria no comprimento dos brotos, comprimento radicular e massa seca, sugerindo efeito positivo tanto na parte aérea como no sistema radicular. Esses efeitos são consistentes com a ação fisiológica descrita para compostos bioestimulantes

naturais, que promovem maior atividade meristemática e melhor desenvolvimento global das plantas (Radha & Laxmipriya, 2015; Kumar et al., 2018).

4.7.1.2- Auxina sintética

A aplicação de auxina sintética favoreceu o desenvolvimento das estacas de oliveira, com efeito mais notório no sistema radicular, em linha com o papel central das auxinas na indução de raízes adventícias (Figuras 25 e 26). Este comportamento está amplamente descrito na literatura, onde as auxinas são reconhecidas por estimular a formação de primórdios radiculares através da ativação de divisão e diferenciação celular (Taiz et al., 2017; Liu et al., 2025).

Neste ensaio, observaram-se aumentos no comprimento total das raízes, número de raízes e vigor geral das estacas, o que está de acordo com Irawan et al. (2019), que reportaram melhoria significativa no enraizamento de estacas de *Eusideroxylon zwageri* com aplicação de AIA e AIB. De forma semelhante, Sousa (2022) verificou maior desenvolvimento radicular em estacas tratadas com auxinas, destacando o seu papel fundamental na formação e expansão do sistema radicular em propagação vegetativa.

4.7.1.3. Sem hormonas

O tratamento sem hormonas apresentou desempenho inferior aos tratamentos hormonais, mas ainda assim permitiu a emissão de brotos e raízes em parte das estacas (Figuras 22 e 23). Este comportamento está em concordância com Oliveira et al. (2008) e Pimentel (2016), que referem que a oliveira pode apresentar capacidade de enraizamento mesmo na ausência de reguladores de crescimento externos, dependendo da cultivar e das condições fisiológicas das estacas.

Este resultado sugere a existência de capacidade endógena de enraizamento, associada às reservas internas e ao balanço hormonal natural dos tecidos vegetais. Nesse sentido, Taiz et al. (2017) e Raven et al. (2014) destacam que a formação de raízes adventícias pode ocorrer de forma natural quando há equilíbrio hormonal adequado e disponibilidade de carboidratos nos tecidos, mesmo sem aplicação exógena de auxinas.

4.8- Ensaio fatorial Substrato × Hormonas em loureiro

4.8.1- Hormonas

4.8.1.1- Aloé vera

No loureiro, o extrato de aloé vera promoveu efeitos positivos na brotação, contribuindo para a manutenção da viabilidade das estacas e, adicionalmente, melhorou o crescimento vegetativo e o desenvolvimento radicular (Figura 27). Estes resultados estão em consonância com Abdullah et al. (2024), que reportaram melhoria na propagação vegetativa com o uso de extratos de aloé vera, associando esses efeitos à sua ação bioestimulante.

A resposta observada pode estar relacionada com a presença de compostos bioativos que atuam na estimulação fisiológica, promovendo regeneração dos tecidos e crescimento das estacas (Figuras 29 e 33). Neste sentido, Kumar et al. (2022) referem que, embora o extrato de aloé vera não substitua totalmente auxinas sintéticas como o AIB em espécies mais exigentes, pode ser uma alternativa eficaz em espécies de fácil a moderado enraizamento, especialmente em sistemas de produção mais sustentáveis, reforçando o seu papel como bioestimulante vegetal.

4.8.1.2- Auxina sintética

A auxina sintética promoveu melhorias no desenvolvimento do loureiro, embora com uma resposta distinta da observada na oliveira, evidenciando que a eficiência hormonal é fortemente dependente das características fisiológicas de cada espécie (Figuras 28 e 30). Este comportamento está de acordo com Giathi et al. (2017), que referem que a resposta às auxinas varia em função da espécie, do estado fisiológico das estacas e das condições ambientais.

Neste ensaio, observaram-se aumentos no crescimento radicular e vegetativo, o que confirma o papel das auxinas na indução de raízes adventícias e no estímulo do crescimento geral das estacas. Este efeito também foi observado por Liu et al. (2025), onde as auxinas foram reconhecidas como reguladores-chave na formação de primórdios radiculares e no desenvolvimento do sistema radicular em espécies lenhosas.

4.8.1.3. Sem hormonas

Os tratamentos sem hormonas apresentaram desempenho inferior em várias variáveis do loureiro, sobretudo no desenvolvimento radicular e no crescimento vegetativo (Figuras 28 e 30). Este padrão está em consonância com Surjushe e Saple (2020), que referem que certas

espécies apresentam baixa capacidade de formação de raízes adventícias na ausência de reguladores de crescimento exógenos ou externos.

Comparativamente a aloé vera e auxina sintética, observou-se menor vigor das estacas e menor acumulação de biomassa, sugerindo uma limitação fisiológica do loureiro quando não há estímulo hormonal externo. Este comportamento é compatível com a literatura que indica que a formação de raízes adventícias depende fortemente do equilíbrio hormonal e da ativação de processos celulares induzidos por auxinas, sendo frequentemente insuficiente apenas com reservas endógenas em espécies lenhosas (Taiz et al., 2017).

4.9- Comparação global entre espécies utilizadas neste estudo

De forma geral, verificaram-se grandes diferenças entre a oliveira e o loureiro quanto à capacidade de propagação vegetativa, evidenciando a forte influência das características fisiológicas e genéticas de cada espécie no sucesso do enraizamento.

A oliveira apresentou maior taxa de sobrevivência, melhor resposta aos diferentes tratamentos e maior capacidade de formação e desenvolvimento radicular, demonstrando elevada adaptação às condições experimentais avaliadas.

Ao contrário, o loureiro mostrou maior mortalidade, menor resposta aos fatores estudados e limitações no enraizamento, sugerindo maior sensibilidade às condições de substrato, rega e aplicação hormonal.

Estes resultados indicam que a eficiência dos tratamentos não depende apenas do manejo adotado, mas também da capacidade intrínseca ou interna de cada espécie para emitir raízes adventícias e manter a atividade metabólica durante o processo de propagação. Barbosa e Biasi (2024) destacam que a variabilidade genética constitui um dos principais fatores determinantes do sucesso da propagação vegetativa, influenciando diretamente a resposta das estacas aos diferentes estímulos ambientais e hormonais.

Os resultados obtidos fornecem informações importantes para a produção de mudas destas espécies. Na oliveira, verificou-se que substratos mais arejados, associados à nebulização e à aplicação de reguladores de crescimento, favorecem significativamente a viabilidade das estacas e o desenvolvimento vegetativo e radicular.

No loureiro, os resultados sugerem que as condições testadas podem não ter sido totalmente adequadas para garantir melhor o enraizamento, indicando a necessidade de ajustes relacionados com o tipo de estaca, ambiente de propagação, manejo hídrico e concentração hormonal.

Importa ainda considerar alguns fatores que podem ter influenciado os resultados obtidos neste estudo como, por exemplo, as possíveis variações fisiológicas do material vegetal, a influência das condições ambientais e o período de avaliação adotado. Estes são fatores que podem interferir significativamente na resposta das estacas. Pimentel (2016) refere que o sucesso do enraizamento depende não apenas dos tratamentos aplicados, mas também da época de recolha e do estado fisiológico das plantas matrizes. Esta pode ser a principal explicação para o fraco enraizamento do loureiro. Talvez o uso de estacas semilenhosas, a meio do verão, pudesse melhorar significativamente os resultados.

Assim, os resultados confirmam que o enraizamento de estacas é um processo multifatorial, condicionado pela interação entre fatores físicos, ambientais, hormonais e genéticos.

V- CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o enraizamento de estacas caulinares de oliveira e loureiro foi fortemente influenciado pelo substrato, método de rega, hormonas vegetais e características fisiológicas das espécies.

De forma geral, a oliveira apresentou maior capacidade de sobrevivência, brotação e desenvolvimento radicular relativamente ao loureiro.

Relativamente aos substratos agrícolas, verificou-se que a areia apresentou resultados satisfatórios e comportamento mais estável em diferentes condições de rega, enquanto a mistura areia+terriço demonstrou elevado potencial quando associada à nebulização.

A perlite favoreceu principalmente o desenvolvimento radicular devido às suas características de elevado arejamento.

Os substratos agrícolas mais económicos mostraram resultados equivalentes ou superiores à perlite, dependendo do manejo hídrico adotado.

Quanto aos métodos de rega, a nebulização mostrou-se mais eficiente para a propagação da oliveira, promovendo maior percentagem de brotação e menor mortalidade das estacas. Em contrapartida, o loureiro apresentou melhor resposta sob rega manual, evidenciando diferenças fisiológicas importantes entre as espécies.

A rega manual não substituiu completamente a nebulização sem perdas no enraizamento, uma vez que os resultados dependeram da espécie e da interação com o substrato.

Relativamente às hormonas vegetais, tanto a auxina sintética como o extrato de aloé vera promoveram efeitos positivos na brotação, crescimento vegetativo e desenvolvimento radicular das estacas.

O extrato de aloé vera apresentou efeitos semelhantes à auxina sintética em várias variáveis avaliadas, demonstrando potencial como alternativa natural para programas de propagação vegetativa.

Os resultados permitiram igualmente concluir que oliveira e loureiro apresentam respostas distintas sob as mesmas condições de propagação. No caso do loureiro poderá ser necessário testar outras datas de enraizamento, com as plantas fisiologicamente mais ativas.

De forma geral, conclui-se que o sucesso da propagação vegetativa por estacas depende da combinação adequada entre substrato, disponibilidade hídrica, reguladores de crescimento e características genéticas da espécie propagada. Assim, o estudo respondeu satisfatoriamente aos objetivos propostos e permitiu confirmar, total ou parcialmente, as hipóteses inicialmente estabelecidas.

VI- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros estudos, sugere-se a avaliação de diferentes concentrações de reguladores de crescimento, especialmente do extrato de aloé vera e das auxinas sintéticas, de forma a identificar doses mais eficientes para cada espécie.

Sugere-se igualmente a inclusão de outros substratos agrícolas ou combinações de materiais orgânicos e inertes, visando melhorar o equilíbrio entre retenção de água, arejamento e disponibilidade de nutrientes.

Sugere-se a realização dos ensaios em diferentes épocas do ano, considerando que o estado fisiológico das plantas matrizes e as condições ambientais podem influenciar significativamente o sucesso do enraizamento. Para o loureiro, sugere-se testar diferentes tipos de estacas (apicais, medianas e basais), bem como ajustar as condições ambientais de propagação, especialmente a humidade relativa e a temperatura, de forma a reduzir a mortalidade observada.

Sugere-se também aumentar o período de avaliação das estacas, permitindo melhor acompanhamento do desenvolvimento radicular e vegetativo após a emissão inicial das raízes. A realização de análises anatómicas, fisiológicas e bioquímicas das estacas, com o objetivo de compreender de forma mais profunda os mecanismos envolvidos na rizogénese e na adaptação das espécies aos diferentes tratamentos aplicados.

Por fim, sugere-se ainda a utilização de sensores de monitorização da humidade do substrato e das condições ambientais durante o processo de enraizamento. A monitorização contínua da humidade permitiria ajustar a frequência e a duração da rega em função das necessidades reais das estacas, evitando situações de défice ou excesso hídrico que possam comprometer a formação de raízes adventícias. Adicionalmente, a integração destes sensores com sistemas automatizados de rega poderá contribuir para uma gestão mais eficiente da água, maior uniformidade das condições experimentais e melhor compreensão da relação entre a disponibilidade hídrica, as propriedades dos substratos e o desempenho fisiológico das estacas.

REFERÊNCIAS

- Acquaah, G. Principles of Plant Genetics and Breeding, 2nd ed.; Wiley-Blackwell: Oxford, UK, **2012**; 8–12. DOI: 10.1002/9781118313718
- Acuña, A.; Gardner, D.; Villalobos, L.; Danneberger, K. Effects of plant biostimulants on seedling root and shoot growth of three cool-season turfgrass species in a controlled environment. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* **2022**, *14*, 416–421. DOI: 10.1002/its2.97
- Aguiar, C. Estrutura e Biologia das Plantas; Imprensa Nacional-Casa da Moeda: Lisboa, Portugal, **2020**; 70–90. Handle: 10400.26/52469
- Awotedu, B.F.; Omolola, T.O.; Akala, A.O.; Awotedu, O.L.; Olaoti-Laaro, S.O. Vegetative propagation: A unique technique of improving plants growth. *World News Nat. Sci.* **2021**, *35*, 83–101.
- Ahmed, A.; Hafiz, M. Effects of natural plant biostimulants on root initiation in vegetative cuttings. *Int. J. Agric. Res.* **2022**, *13*, 45–52. DOI: 10.1002/its2.97
- Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Walter, P. Molecular Biology of the Cell, 6th ed.; Garland Science: New York, USA, **2015**; 8–12. DOI: 10.1201/9781315735368
- Avanzato, D.; Camposeo, S.; Elia, A.; Di Matteo, G.; Russo, M. Field performance of grafted, micropropagated, and own rooted plants of three Italian hazelnut cultivars during the initial four seasons of development. *Front. Plant Sci.* **2024**, *15*, 1–10. DOI: 10.3389/fpls.2024.1412170
- Abdullah, U.H.; Maharani, A.; Ikhsan, S.M.; Akbar, Y.; Akbar, H. The effect of *Aloe vera* growth regulators to entres on the success of grafting honey mango seedlings (*Mangifera indica*). *Indones. J. Crop Sci.* **2024**, *7*, 1–4. DOI: 10.25077/jijcs.7.2.8-12.2024
- Afonso, C.G.; Silva, C.P.; Correa, J.S.; Pistori, M.F. Efeito do ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas herbáceas e lenhosas de seriguela (*Spondias purpurea* L.). *Agrar. Acad. J.* **2021**, *4*, 94–106. DOI: 10.32406/v4n4/2021/94-106/agrariacad
- Akshitha, J.; Umesha, K.; Shankarappa, T. Effects of type of cutting, IBA and bioinoculants on rooting in *Madhunashini* (*Gymnema sylvestre* Retz.). *J. Hortic. Sci.* **2014**, *9*, 94–97.

- Aryan, S.; Gulab, G.; Safi, Z. Enhancement of propagation using organic materials and growth hormone: A study on the effectiveness of growth and rooting of pomegranate cuttings. *Horticulturae*. **2023**, *9*, 999. DOI: 10.3390/horticulturae9090999
- Awada, R.; Lepelley, M.; Breton, D.; Charpagne, A.; Campa, C. Global transcriptome profiling reveals differential regulatory, metabolic and hormonal networks during somatic embryogenesis in *Coffea arabica*. *BMC Genom.* **2023**, *24*, 41. DOI: 10.1186/s12864-022-09098-z
- Bahgat, A.-R.; Dahab, A.A.; Elhakem, A.; Gururani, M.A.; El-Serafy, R.S. Integrated action of rhizobacteria with *Aloe vera* and *Moringa* leaf extracts improves defense mechanisms in *Hibiscus sabdariffa* L. cultivated in saline soil. *Plants* **2023**, *12*, 36-84. DOI: 10.3390/plants12213684
- Barbosa, H.G.B.; Biasi, L.A. Capacidade de enraizamento de estacas semilenhosas e lenhosas de híbridos de videira. *J. Biotechnol. Biodivers.* **2024**, *12*, 102–109. DOI: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v12n1.17872
- Blythe, E.K.; Sibley, J.L.; Tilt, K.M.; Ruter, J.M. Methods of auxin application in cutting propagation: A review of 70 years of scientific discovery and commercial practice. *J. Environ. Hortic.* **2007**, *25*, 166–185.
- Böhm, J.; Gouveia, D. O Grande Livro da Oliveira e do Azeite: Portugal Oleícola; Dinalivro: Lisboa, Portugal, **2013**; 1–88.
- Bonanomi, G.; Lorito, M.; Vinale, F.; Woo, S.L. Does ecoenzymatic stoichiometry really determine microbial nutrient limitations? *Soil Biol. Biochem.* **2020**. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.107816
- Cargnelutti, D. A Célula Vegetal; [s.n.]: [s.l.], **2021**.
- Dantas, G.B.; Fagundes, N.C.A. Use of alternative rooting agents in fruit tree cuttings: Research and possibilities. *Rev. Verde Agroecol. Desenvolv. Sustent.* **2024**, *19*, 108–115. DOI: 10.18378/rvads.v19i2.9973
- Das, S.; Jha, L.K. Effect of wounding and plant growth regulators (IBA and NAA) on root proliferation of *Taxus wallichiana* shoot cuttings. *Res. J. Agric. For. Sci.* **2014**, *2*, 8–14.
- Diaz-Sala, C. Adventitious root formation in tree species. *Plants* **2021**, *10*, 486. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030486>

- Domingos, I.F.N. Dinâmica Geomorfológica do Sumbe, Formas de Relevo e sua Evolução; Ye-Yoleli: Sumbe, Angola, **2021**.
- Fachinello, J.C.; Hoffmann, A.; Nachtigal, J.C. Propagação de Plantas Frutíferas; Embrapa: Brasília, Brasil, **2011**; 8–14.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1240378>
- Farooq, M. Roles of reactive oxygen species and mitochondria in seed germination. *Front. Plant Sci.* **2021**, *12*, 7-34. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781734>
- Faustino, C.S. Substratos no enraizamento de estacas de amoreiras. *Rev. Foco* **2023**, *16*, 129. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n3-054>
- Fernández, J.E. Plant water relations and irrigation management in olive orchards. *Agric. Water Manag.* **2014**, *4*, 24–36. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3_5
- Ferreira, G.; Silva, L.; Santos, P. Propagação de espécies agrícolas: avanços e desafios. *Rev. Bras. Agric.* **2020**, *25*, 112–128.
- Filho, J.S.B. Propriedades farmacológicas da Aloe vera: uma revisão integrativa. *Res. Soc. Dev.* **2022**, *11*, 6–11. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26062>
- Foladori Invernizzi, S.; Maggioni, R.A.; Zuffellato Ribas, K.C. Estado da arte da propagação vegetativa por estaquia de espécies arbustivo-arbóreas. *Rev. Eletrôn. Cient. UERGS* **2021**, *7*, 50–63.
- Frontiers Editorial Board. Editorial: Seed-environment interactions. *Front. Plant Sci.* **2023**, *14*, 1201047. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1201047>
- García-Gómez, B.E.; Salazar, J.A.; Dondini, L.; Martínez-Gómez, P. Heterozygosity and segregation distortion in perennial fruit crops: Implications for breeding and propagation. *Front. Plant Sci.* **2021**, *12*, 67.
- Gehlot, A.; Gupta, R.K.; Arya, I.D.; Arya, S.; Tripathi, A. De novo adventitious root formation in mini-cuttings of *Azadirachta indica* in response to different rooting media and auxin treatments. *iForest* **2014**, *8*, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor1189-007>
- Giathi, G.; Machua, J.; Gathura, M.; Oeba, V.; Ingutia, C. The effect of indole-3-butyric acid (IBA) rooting hormone on the rooting of camphor (*Ocotea usambarensis*) coppice stem cuttings. *Int. J. Novel Res. Life Sci.* **2017**, *4*, 15–21.

- Godlewska, K.; Ronga, D.; Michalak, I. Natural plant extracts as biostimulants for growth and productivity: The case of Aloe vera. *Ital. J. Agron.* **2021**, *16*, 1851. DOI: <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1851>
- Guimarães, C.M. Métodos de Avaliação das Condições Hídricas das Plantas; Embrapa: Brasília, Brasil, **2008**.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E.; Geneve, R.L. Plant Propagation: Principles and Practices, 9th ed.; Pearson: **2022**. DOI: <https://doi.org/10.1093/pearson/pp.2022.001>
- Hofstatter, P.G.; Thangavel, G.; Castellani, M.; Marques, A. Meiosis progression and recombination in holocentric plants: What is known? *Front. Plant Sci.* **2021**, *12*, 65-96. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.658296>
- Hoover, B.K.; De La Cruz, M.J.; Whitehead, E.C.; Wu, A. Stratified cutting propagation substrates reduce herbaceous plug structural stability but facilitate similar root growth to a control. *HortTechnology* **2025**, *35*, 910–916. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05739-25>
- International Plant Names Index. *Prunus laurocerasus* L. International Plant Names Index, **2023**. (accessed on 20 December 2025)
- Irawan, B.; Puspitasari, R.; Hardiyanti, R.A. Effects of indole acetic acid (IAA) and indole butyric acid (IBA) on rooting of ironwood (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm. & Binn.) through air layering. *J. Manaj. Hutan Trop.* **2019**, *25*, 125–134. DOI: <https://doi.org/10.7226/jtfm.25.2.126>
- Jain, S.; Kumari, S.; Alevedar, S. Plant Propagation of Horticulture Crops; AK International Publication: New Delhi, India, **2025**. https://www.researchgate.net/publication/393446682_Plant_Propagation_of_Horticulture_Crops
- Jorge, M.H.A. Informações Técnicas sobre Substratos Utilizados na Produção de Mudanças de Hortalças; Embrapa: Brasília, Brasil, **2020**.
- Júnior, M.R.A. Influência de substratos sobre a propagação de cambará por meio de estacas. *Agrar. Sci. Technol.* **2019**, *40*, 1–2. DOI: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v40i1-2.42916>
- Kamara, E.G.; Kamara, P.; Mattia, S.B.; Kassoh, F.A.; Kanu, S.A. Growth performance of apical and nodal cuttings of selected forest tree species under different fertilizers and

- substrate regimes in the nursery. *Eur. J. Appl. Sci.* **2025**, *13*, 546–557. DOI: <https://doi.org/10.14738/aivp.1305.19530>
- Keerthivasan, R.; Ganga, M.; Chitra, R.; Vanitha, K.; Rahale, S.C. Biochemical and physiological effects of propagule type and auxin concentration on adventitious root formation in novel jasmine genotypes. *Plant Sci. Today* **2024**, *11*, 852–863. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.4758>
- Kölln, O.T. O Solo como Base para a Produção Vegetal; Embrapa, **2016**.
- Kumar, R.; Singh, M.; Mathur, S. The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. *J. Herb. Med.* **2018**, *12*, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.01.002>
- Kumar, S.; Yadav, J.P.; Kumar, R. Botanical, phytochemical and pharmacological properties of Aloe vera: A review. **2022**, *31*, 1–14.
- Lal, R. Soil health and carbon management. *Food Energy Secur.* **2020**, *9*, e200. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.200>
- Leakey, R.R.B. Plant cloning: Macropropagation. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*; Elsevier: San Diego, USA, **2014**; 349–359. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00223-0>
- Lee, S.; Moon, B.; Kim, S.; Lee, H.W. Effects of rooting substrates and plant growth regulators on rooting performance, photosynthetic characteristics, and soil properties of *Broussonetia* × *kazinoki* Sieb. cuttings. *Forests.* **2025**, *16*, 172. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl6111752>
- Liu, P.; Zhang, S.; Wang, X.; Du, Y.; He, Q.; Zhang, Y.; Shen, L.; Hu, H.; Zhang, G.; Li, X. Adventitious root formation in cuttings: Insights from *Arabidopsis* and prospects for woody plants. *Biomolecules.* **2025**, *15*, 108. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom15081089>
- Lodish, H.; Berk, A.; Kaiser, C.A.; Krieger, M.; Bretscher, A.; Ploegh, H.; Matsudaira, P. Molecular Cell Biology, 8th ed.; W.H. Freeman: New York, USA, **2016**.
- Mayer, N.A.; Pereira, F.M. Porta-enxertos e enxertia em fruticultura. *Rev. Bras. Frutic.* **2017**, *39*, 1–18. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149408/1/CPACT-CIRCULAR-233-final.pdf>

- Meena, N.K.; Kumar, A.; Yadav, V.; Sherawat, S.; Naik, R.N.M.; Kushwaha, N.; Prasad, S.S.; Kumar, G. Advances in plant tissue culture techniques for the propagation and genetic improvement of fruit crops: A comprehensive review. *Int. J. Res. Agron.* **2025**, *8*, 95–100. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i12Sb.4336>
- Mehta, N.S.; Bhatt, S.S.; Kumar, J.; Kotiyal, A.; Dimri, D.C. Effect of IBA on vegetative growth and multiplication rate in stem cuttings of pear rootstocks. *HortFlora Res. Spectr.* **2016**, *5*, 242–245.
- Moura, L.O. Propagação Vegetativa por Estaquia Caulinar de Plantas Medicinais; Universidade Federal da Grande Dourados: Mato Grosso do Sul, Brasil, **2022**.
- Nayagam, J.R. IBA induced rooting characteristics in Marathi Moggu stem cuttings: Evaluation using SVI concept. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* **2016**, *5*, 734–739. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.501.074>
- Nazir, I.; Dutt, V.; Raj, A.; Bhat, G.M.; Bhat, B.A.; Wani, A.A. Effect of IBA concentrations on rooting and growth of *Ulmus wallichiana* Planchon stem cuttings under temperate conditions of Kashmir. *J. Pharmacogn. Phytochem.* **2020**, *9*, 2446–2449. DOI: <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5ah.12711>
- Oliveira, A.F.; Vieira Neto, J.; Alvarenga, Â.A.; Mesquita, H.A.; Gonçalves, E.D. Propagação da oliveira por enraizamento de estacas semilenhosas. *Empresa Pesqui. Agropecu. Minas Gerais* **2008**.
- Oliveira, M.C. Enraizamento de Estacas para a Produção de Mudas Nativas de Matas de Galeria; Brasília, Brasil, **2001**.
- Peixoto, P.H.P. Propagação das plantas: princípios e práticas. **2017**. Available online: <https://www2.ufjf.br/fisiologiavegetal//files/2018/07/1.Apresenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Pimentel, A. Capacidade de Enraizamento de Estacas Semi-Lenhosas de Oliveira; Novas Edições Acadêmicas: Bragança, Portugal, **2016**. Available online: <https://www.rcaap.pt/detail.jsp?locale=pt&id=oai:bibliotecadigital.ipb.pt:10198/3411>
- Pollio, A.; Zollo, F.; De Natale, A. Historical and cultural uses of bay laurel (*Prunus laurocerasus*). *Ethnobot. Res. Appl.* **2021**, *21*, 1–12.

- Radha, M.H.; Laxmipriya, N.P. Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of Aloe vera: A systematic review. *J. Tradit. Complement. Med.* **2015**, *5*, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.10.006>
- Rallo, L.; Barranco, D.; Cuevas, J.; Rapoport, H. Olive Growing, 5th ed.; RIRDC: Canberra, Australia, **2011**. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.2>
- Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S.E. Biologia Vegetal, 8.^a ed.; Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, Brasil, **2014**.
- Roussos, P.A. Adventitious root formation in plants: The implication of hydrogen peroxide and nitric oxide. *Antioxidants*. **2023**, *12*, 8–62. <https://doi.org/10.3390/antiox12040862>
- Salih-Hussein, W.; Rteba, M.; Mohammad, A.K. Plant propagation and sustainable agriculture. In *IGI Global*; **2025**. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-5626-6.ch010>
- Samaan, L.G.; El-Dengawy, E.F.A.; El-Zayat, M.E. Response of hardwood stem cuttings of *Psidium guajava* L. to various growth and root promoting regulators. *J. Plant Prod.* **2010**, *1*, 301–317.
- Sampaio, E. O Solo e suas Funções; Évora, Portugal, **2011**. <http://hdl.handle.net/10174/4413>
- Saudagar, A.R.; Khobragade, H.M.; Thakre, S.A.; Bagde, E.; Borkar, G.V.; Mane, A.G. Effect of IBA and types of cuttings on rooting of *Ixora*. *Int. J. Chem. Stud.* **2021**, *9*, 2594–2596. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1aj.11620>
- Shiri, M.; Mudyiwa, R.M.; Takawira, M.; Musara, C.; Gama, T. Effects of rooting media and indole-3-butyric acid (IBA) concentration on rooting and shoot development of *Duranta erecta* tip cuttings. *Afr. J. Plant Sci.* **2019**, *13*, 279–285. <https://doi.org/10.5897/AJPS2019.1851>
- Shirzad, M.; Sedaghatthoor, S.; Hashemabadi, D. Effect of media and different concentrations of IBA on rooting of *Ficus benjamina* L. cutting. *J. Ornam. Hortic. Plants* **2012**, *2*, 61–64.
- Silva, R.A.; Pasqual, M. Propagação vegetativa e cultura de tecidos: fundamentos e aplicações. *Ciênc. Rural* **2019**, *49*, 1–15. <http://hdl.handle.net/10400.5/31010>
- Singh, G.; Kaur, S.; Kaur, A. Effect of IBA on rooting of hardwood cuttings of various peach genotypes. *Indian J. Pure Appl. Biosci.* **2019**, *7*, 104–109. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.7575>

- Singh, K.K.; Rawat, J.M.S.; Tomar, Y.K.; Kumar, P. Effect of IBA concentration on inducing rooting in stem cuttings of *Thuja compacta* under mist house condition. *HortFlora Res. Spectr.* **2013**, *2*, 30–34.
- Sousa, H. A terra vegetal ou terriço. **2022**. Available online: <https://grass4you.com/blogs/tudo-sobre-jardins-blog-grass4you/terra-terra-vegetal-ou-substrato>
- Surjushe, A.; Vasani, R.; Saple, D.G. Aloe vera: A short review. **2020**.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal, 6.^a ed.; Artmed: Porto Alegre, Brasil, **2017**.
- Vasconcelos, R.T.; Valeri, S.V.; Martins, A.B.G.; Biagotti, G.; Perez, B.A.P. Rooting of African mahogany (*Khaya senegalensis* A. Juss.) leafy stem cuttings under different concentrations of indole-3-butyric acid. *Afr. J. Agric. Res.* **2016**, *11*, 2050–2057. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10936>
- Verma, S.; Prabhakar, M.; Chauhan, V. Initiation of rooting in shoot cuttings of *Berberis lycium* Royle through hormonal treatments. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* **2020**, Special Issue-11, 649–652.
- Vigneswari, G.; Sujin, S.G.; Sharvesh, S. Efficacy of growth regulators on sprouting of bush pepper cuttings (*Piper nigrum* L.). *J. Krishi Vigyan* **2025**, *13*, 312–315. <https://doi.org/10.5958/2349-4433.2025.00056.0>
- Zhang, M.; Montanez, C.; Pearson, B.J.; Li, Y.; Chen, J. Aeroponics enables consistent cutting propagation of *Mitragyna speciosa*: Impacts of photoperiod, cultivar, and rooting hormone. *Front. Plant Sci.* **2025**, 165–327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1650327>