

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**WESLEY RIBEIRO FERRARI**

**ENXERTIA DA PIMENTEIRA-DO-REINO EM  
ESPÉCIES NATIVAS DE *Piper***

**São Mateus – ES  
Novembro de 2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**ENXERTIA DA PIMENTEIRA-DO-REINO EM  
ESPÉCIES NATIVAS DE *Piper***

**Wesley Ribeiro Ferrari**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sara Dousseau Arantes

**São Mateus – ES  
Novembro de 2021**

# ENXERTIA DA PIMENTEIRA-DO-REINO EM ESPÉCIES NATIVAS DE *Piper*

**WESLEY RIBEIRO FERRARI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 17 de dezembro de 2021.

---

Antelmo Ralph Falqueto  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(UFES)  
(Examinador Interno)

---

Thiago Corrêa de Souza  
Universidade Federal de Alfenas  
(UNIFAL- MG)  
(Examinador Externo)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sara Dousseau Arantes  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(UFES)  
(Orientadora)

## AGRADECIMENTOS

À Deus toda a minha gratidão por ter me permitido desenvolver este trabalho, dando a mim saúde, sabedoria e condições de realizá-lo, mediante todas as dificuldades durante essa jornada.

Aos meus familiares, meu pai, João Batista Ferrari e minha mãe, Penha Ribeiro Ferrari e meu Irmão Wellington Ribeiro Ferrari pelo apoio, incentivo, amor e dedicação para a minha formação pessoal e profissional.

À minha companheira, Simone Moreto da Silva pelo amor, compreensão, ajuda aos finais de semanas e feriados, sempre me dando apoio e incentivo nos momentos mais difíceis. Sem você eu não teria conseguido.

À minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Sara Dousseau Arantes pela brilhante e admirável capacidade de ensinar, incentivar e contribuir para a construção do conhecimento, pela dedicação com a qual sempre me orientou, me fornecendo todo o suporte e apoio necessário em todas as etapas deste estudo.

Ao amigo, viveirista, Rogério Félix de Lima, proprietário do Viveiro Clonar®, pela parceria, disponibilizando o local para a realização do experimento, tempo, mão-de-obra, irrigação, insumos e demais recursos necessários para a condução do experimento, sempre com boa-vontade, do início ao fim do experimento.

Ao amigo e colega de trabalho Genésio Rodrigues Pires, pela amizade, dedicação, boa vontade e compromisso na realização de todo o trabalho de campo e nas avaliações, sendo fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelo suporte e oportunidade de realização do curso.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, pela disponibilidade de colaboradores e estrutura para a realização deste estudo, em especial aos técnicos, alunos, bolsistas e estagiários ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-Colheita que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A estes, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste estudo meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA PIMENTEIRA-DO-REINO.....	4
2.2 ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA PIMENTEIRA-DO-REINO.....	5
2.3 CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-REINO .....	6
2.4 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DA PIMENTEIRA-DO-REINO.....	7
2.4.1 O processo de Enxertia .....	8
2.4.2 Fatores que determinam o sucesso da enxertia.....	9
2.4.3 Avaliação da eficiência da enxertia.....	11
2.4.4 Enxertia da Pimenteira-do-Reino.....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	17
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	18
3.3 PRODUÇÃO DOS PORTA-ENXERTOS DE ESPÉCIES NATIVAS .....	18
3.4 PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTOS DAS CULTIVARES .....	19
3.5 TRANSPLANTIO DAS MUDAS .....	20
3.6 ENXERTIA.....	20
3.7 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS .....	23
3.7.1 Porcentagem de brotação, folhas e sobrevivência .....	23
3.7.2 Alocação de massa seca e qualidade de mudas.....	23
3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	24
<b>4 RESULTADOS</b> .....	25
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	33
<b>6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS</b> .....	39
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	40
APÊNDICE A- Local de instalação do viveiro - Viveiro Clonar ®.....	51
APÊNDICE B – Mudanças de pimenteira-do-reino enxertadas pelo método de garfagem de topo em fenda cheia sobre diferentes genótipos de <i>Piper</i> .....	52
APÊNDICE C – Mudanças de pimenteira-do-reino enxertadas pelo método de garfagem lateral em fenda cheia sobre diferentes genótipos de <i>Piper</i> .....	53

## RESUMO

FERRRARI, W. R.; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Novembro de 2021; **Enxertia da pimenteira-do-reino em espécies nativas de *Piper***, Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Sara Dousseau Arantes.

A cultura da Pimenteira-do-reino no Brasil é afetada pela fusariose, doença causada pelo fungo *Fusarium solani* f. sp. piperis, considerada a principal doença da pimenteira-do-reino no país, responsável pela redução na produtividade e longevidade das lavouras, não existindo manejo eficiente para a erradicação da doença. Uma alternativa importante que poderá permitir o cultivo da pimenteira-do-reino em áreas contaminadas é a enxertia em espécies selvagens resistentes. Entretanto, o uso dessa técnica ainda não está estabelecido para a produção de mudas, uma vez que há a necessidade de se identificar a compatibilidade da enxertia em maior diversidades de genótipos para porta-enxerto e a melhor técnica. Sendo assim, objetivou-se com este estudo investigar a interação entre métodos de enxertia e porta-enxertos compatíveis, visando o a determinação da melhor combinação, em condições de viveiro, que contribua para o estabelecimento de um protocolo de produção de mudas enxertadas. Foi avaliada a enxertia da pimenteira-do-reino através das técnicas de garfagem lateral em fenda cheia e garfagem de topo em fenda cheia em seis diferentes porta-enxertos, sendo quatro espécies selvagens (*Piper aduncum* Link, *Piper tuberculatum* Jacq., *Piper marginatum* Jacq. e *Piper hispidum* Kunth) e duas cultivares de pimenteira-do-reino ('Kottanadan Broto Branco' e 'Bragantina'). As avaliações de pegamento, desenvolvimento de raiz, parte aérea e os parâmetros de qualidade das mudas permitiram determinar a compatibilidade inicial da enxertia da pimenteira-do-reino em *Piper aduncum*, por meio da enxertia de topo em fenda cheia. As espécies *Piper tuberculatum* e *Piper marginatum* se mostraram incompatíveis para a enxertia com *P. nigrum*. O método de enxertia lateral não foi eficiente para a produção de mudas nas condições de viveiro estabelecidas para este experimento.

**Palavras-chave:** métodos, genótipos, compatibilidade, mudas.

## ABSTRACT

FERRRARI, W. R.; M.Sc. Federal University of Espirito Santo; November 2021;  
**Black pepper grafting on native species of Piper**; Advisor: Dr<sup>a</sup>. Sara Dousseau Arantes.

The black pepper crop in Brazil is affected by fusariosis, a disease caused by the fungus *Fusarium solani* f. sp. piperis, considered the main black pepper disease in the country, responsible for the reduction in productivity and longevity of crops, with no efficient management for the eradication of the disease. An important alternative that could allow the cultivation of black pepper in contaminated areas is the grafting on resistant wild species. However, the use of this technique is not yet established to produce seedlings, since there is a need to identify the graft compatibility in greater diversity of genotypes for rootstock and the best technique for that. Therefore, the aim of this study was to investigate the interaction between grafting methods and compatible rootstocks, aiming to determine the best combination, under nursery conditions, that would contribute to the establishment of a protocol to produce grafted seedlings. Black pepper grafting was evaluated using the techniques of side veneer grafting and wedge grafting in six different rootstocks, with four wild species (*Piper aduncum* Link, *Piper tuberculatum* Jacq., *Piper marginatum* Jacq. and *Piper hispidum* Kunth) and two cultivars of black pepper ('Kottanadan Broto Branco' and 'Bragantina'). The evaluations of setting, root development, aerial part and the quality parameters of the seedlings allowed to determine the initial compatibility of the black pepper grafting in *Piper aduncum*, by means of top grafting in full slit. The species *Piper tuberculatum* and *Piper marginatum* were shown to be incompatible for grafting with *P. nigrum*. The side veneer grafting method was not efficient to produce seedlings in the nursery conditions established for this experiment.

**Keywords:** methods, genotypes, compatibility, seedlings.

## 1 INTRODUÇÃO

A pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.), conhecida internacionalmente como *black pepper* (pimenta-preta), é uma Piperaceae trepadeira perene, com inflorescência em espiga e frutos classificados como drupa (EMBRAPA, 2004). A pimenta-do-reino é a especiaria mais consumida no mundo e tem ampla utilização na indústria alimentícia e farmacêutica, uma vez que os metabólitos secundários podem ser usados em diversos tratamentos, tendo, comprovadamente ação antibacteriana, antidepressiva, antifúngica, antidiarreica, anti-inflamatória, antimutagênica, antioxidante, entre outras (AHMAD *et al.*, 2012).

O Brasil é destaque na produção mundial de pimenta-do-reino, ocupando o segundo lugar com a produção de 109.401 toneladas em 2019, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2020). O Brasil ocupa a 6ª posição no ranking mundial com produtividade de 3,097 t. ha<sup>-1</sup> (FAO, 2020), o que equivale a produção de 1,5 Kg planta<sup>-1</sup>, considerando uma densidade de plantio de 2 mil plantas ha<sup>-1</sup>, evidenciando o potencial reprimido da cultura.

O Espírito Santo é referência nacional na produção e produtividade da pimenta-do-reino, sendo o grande responsável pelo aumento da produtividade nacional, liderando com 3,95 t. ha<sup>-1</sup>, 27,5 % superior à média brasileira (IBGE, 2021). No entanto, em regiões produtoras do Espírito Santo, lavouras em bom estado nutricional, fitossanitário e com irrigação facilmente alcançam produtividade superior a 8 ton. ha<sup>-1</sup>. No cenário internacional, o Camboja, por exemplo, possui produtividade de 6,64 t. ha<sup>-1</sup>. Esses dados evidenciam a baixa produtividade nacional, mas ao mesmo tempo expõe o potencial de melhoria desta, através de estudos científicos que visam superar os principais gargalos da produção.

Fatores bióticos e abióticos são responsáveis pela redução na produtividade da pimenteira-do-reino. Entre estes, a fusariose, causada pelo fungo *Fusarium solani* f. sp. piperis e considerada a principal doença da pimenteira-do-reino no país, tem sido relacionada à diminuição da produtividade e vida útil das lavouras, uma vez que ataca o sistema radicular, causando a morte das plantas (RANA *et al.*, 2017). A cultura tem

potencial de manter a produção média até 12 anos, sobrevive por cinco a seis anos em áreas contaminadas (LEMOS *et al.*, 2011). Tremacoldi (2010) e Gomes Filho (2017) relatam que o controle da fusariose é dificultado pela forma de sobrevivência do patógeno, sua alta capacidade de competição saprofítica e pela impossibilidade de diagnosticar a infecção inicial nas raízes, o que faz com que não haja tratamento químico eficaz. Diante disso, o estudo de técnicas de manejos genético e cultural são importantes, visando o desenvolvimento protocolos para a produção de mudas resistentes a esse patógeno.

A enxertia em espécies selvagens resistentes pode ser considerada uma alternativa importante para o controle da fusariose na pimenteira-do-reino (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001). Estudos anteriores sobre enxertia, utilizando como porta-enxerto espécies nativas, foram realizados no Brasil, apresentando bons resultados no controle de doenças de solo e pegamento de enxerto, alcançando diferentes percentuais de sucesso na formação de mudas por meio desta técnica. Os avanços nos estudos científicos sobre enxertia possibilitaram ampliar os conhecimentos sobre métodos de enxertia, época, tipo de ramo e compatibilidade entre enxertos e porta-enxertos intraespecíficos e interespecíficos (VANAJA *et al.*, 2007; JANANI, 2009; BASTOS; SANTOS, 2016; CHINNAPAPPA *et al.*, 2018; LAKSHMANA; HANUMANTHAPPA; SUNIL, 2016; AARTHI; KUMAR, 2019; CRASQUE *et al.*, 2021).

Entretanto, é notório que estudos sobre a enxertia em espécies nativas são incipientes e escassos, havendo necessidade de se identificar maior quantidade de espécies compatíveis e com potencial |de fornecer porta-enxertos resistentes, além de se determinar o método de enxertia mais adequado para cada espécie. O aprimoramento desse conhecimento poderá contribuir para o aumento da vida útil das lavouras no campo, além reduzir drasticamente a utilização de defensivos agrícolas sem registro para a cultura, visando a redução de custos e a sustentabilidade da produção.

Sendo assim, objetivou-se com este estudo investigar a interação entre métodos de enxertia e porta-enxertos intraespecíficos e interespecíficos compatíveis, visando o a determinação da melhor combinação, em condições de viveiro, que contribua para o estabelecimento de um protocolo de produção de mudas enxertadas.

Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para evidenciar a importância da pimenteira-do-reino, sua região de origem, distribuição da espécie, cultivares existentes, bem como elucidar as descobertas científicas existentes sobre o processo de propagação de mudas por meio da enxertia. Concomitantemente, foi conduzido um estudo de pesquisa aplicada em um viveiro de produção de mudas, para avaliar a compatibilidade da pimenteira-do-reino com cinco porta-enxertos enxertados utilizando duas técnicas de garfagem (topo e lateral). Como porta-enxertos, foram avaliados quatro espécies nativas de *Piper* (*Piper aduncum* Link, *Piper tuberculatum* Jacq., *Piper marginatum* Jacq. e *Piper hispidum* Kunth e duas cultivares ('Kottanadan broto branco' e 'Bragantina').

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA PIMENTEIRA-DO-REINO

A Pimenteira-do-Reino é uma espécie de Piperaceae, família composta por cerca de 8 a 12 gêneros, que reúne entre 1.400 e 2.515 espécies, representada por plantas tropicais e subtropicais dentro da ordem Piperales e da super ordem Magnolianaes, sendo classificada entre as Angiospermas basais (WANKE *et al.*, 2012; KATO; FURLAN, 2007).

No Brasil, essa família é representada por 3 gêneros (*Piper*, *Manekia*, e *Peperomia*) contendo 459 espécies nativas, sendo 259 dessas endêmicas do Brasil (GUIMARÃES *et al.*, 2021). Dentre estes, *Piper* é o gênero mais diversificado, com 289 espécies ocorrentes no Brasil, sendo 183 dessas endêmicas, abrangendo plantas de porte arbóreo, arbustivo, subarbustivo, trepadeiras e herbáceas, distribuídas em todos os estados da federação nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (JARAMILLO; CALLEJAS, 2004; GUIMARÃES *et al.*, 2021).

Algumas espécies de *Piper* são cultivadas e conhecidas pelo seu valor econômico, porém, a pimenteira-do-reino tem destacada importância comercial. O seu fruto, a pimenta-do-reino é o produto agrícola mais importante do gênero, além de ser o condimento mais consumido no mundo. É o condimento mais valorizado do mundo, com grande valor econômico, permitindo que a atividade desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável (LIMA *et al.*, 2010). O composto mais significativo das espécies de *Piper* é a piperina, que constitui o princípio ativo pungente da pimenta-do-reino (PARMAR *et al.*, 1997).

A espécie *P. nigrum* é uma trepadeira perene, semi-lenhosa, que possui caule formado por ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Os nós dos ramos ortotrópicos formam raízes adventícias grampiformes que se aderem ao tutor, enquanto os ramos

plagiotrópicos, ou ramos de frutificação, são desprovidos de raízes e originam gemas florais (PURSEGLOVE *et al.*, 1981). O limbo possui formato variando entre arredondado a ovalado, assimétrica, com uma ponta afilada e filotaxia alterna (EMBRAPA, 2004; SHANGO; MAJUBWA; MAERERE, 2021).

As raízes adventícias da pimenta-do-reino formam o sistema radicular fasciculado na parte inferior de estacas caulinares e constituem as raízes principais para absorção de nutrientes das mudas clonais. O número dessas raízes varia de 10-20, podendo aprofundar entre 1 e 2 metros no solo, entretanto, a maior parte é localizada na profundidade de até 30 cm (RAMOS, 1982). As raízes grampiformes que crescem nos nós do caule são curtas, variando de 3-5 cm (EMBRAPA, 2004; MAJUBWA; MAERERE, 2021).

Caracterizando a pimenteira-do-reino no seu aspecto reprodutivo, Poltronieri *et al.* (1999) consideraram a espécie como autógama, cuja floração nas condições climáticas da Amazônia ocorre de novembro a abril e a inflorescência é uma espiga composta de floretas aperiantadas. Segundo esses mesmos autores, a fecundação normalmente se dá entre flores diferentes de uma mesma espiga (geitonogamia), sendo seu fruto uma drupa séssil, indeiscente, proveniente de um único óvulo. Quando maduro, o fruto possui de 4 a 6 mm de diâmetro e a casca adquire coloração avermelhada, 6 meses após a fecundação (POLTRONIERI *et al.*, 1999; EMBRAPA, 2004).

## **2.2 ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA PIMENTEIRA-DO-REINO**

A floresta tropical úmida perenifólia que margeia a costa do Malabar, sudoeste da Índia é o centro de origem da pimenta-do-reino (BABU *et al.*, 2015). Desta região foi espalhada dentro do Sudeste asiático e posteriormente foi introduzida na África, nas ilhas do Pacífico, América Central e do Sul (WAARD; ZEVEN, 1969).

Levantamentos recentes feitos por Nedspice (2021), dão conta de que atualmente o cultivo da especiaria está distribuído em países tropicais e subtropicais com a maior parte da produção ainda concentrada no continente asiático, em países próximos ao

seu centro de origem, como Vietnã, Índia, Indonésia, Camboja, China, Malásia, Tailândia, Sri Lanka, entre outros. O Brasil se destaca como maior produtor de Pimenta-do-reino fora do continente asiático e o segundo maior produtor mundial da especiaria (NEDSPICE, 2021).

### 2.3 CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-REINO

A pimenteira-do-reino possui centenas de cultivares catalogadas na Índia, Malásia, Indonésia, Siri Lanka e Tailândia (MATHEW *et al.*, 2001; BABU *et al.*, 2015). Na Índia, a maioria das variedades obtidas é através de polinização controlada (POLTRONIERI; LEMOS; ALBUQUERQUE, 1999). Contudo, somente oito cultivares são registradas no Brasil (Tabela 1), conforme o sistema de registro nacional de cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (CULTIVARWEB, 2021).

Tabela1. Cultivares de Pimenta-do-Reino Registradas no Brasil.

Cultivar	Mantenedor	Data de Registro
Bragantina	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper	27/03/2015
BRS Apra	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA	11/05/2006
BRS laçará	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA	11/05/2006
BRS Kottanadan	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA	11/05/2006
BRS Kuthiravally	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA	11/05/2006
Cingapura	Fernando Antonio B. de Albuquerque	17/10/2002
Guajarina	Fernando Antonio B. de Albuquerque	17/10/2002
Indiana	FELTRIN Sementes LTDA.	25/03/2020

Fonte: CULTIVARWEB

No norte do estado do espírito Santo, nos últimos anos vem se destacando uma variedade denominada pelos pipericultores locais de “Kottanadan Broto Branco”,

resultado de uma seleção em campo feita por um produtor da região. Nota-se, por meio de observações em campo e relatos de viveiristas, técnicos e produtores locais, que o cultivo dessa variedade está se expandindo consideravelmente nos últimos 5 anos nessa região e em regiões circunvizinhas. Isso se deu devido ao fato de terem sido observadas, características desejáveis como alta produtividade, produção precoce e boa adaptação ao clima local. No entanto, vale lembrar que essas informações são baseadas em observações de campo, não sendo encontrado nenhum estudo científico que sobre esta variedade. Essa cultivar não está registrada no sistema de registro nacional de cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

#### **2.4 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DA PIMENTEIRA-DO-REINO**

A propagação assexuada ou vegetativa vem sendo cada vez mais utilizada em substituição à propagação seminal em espécies de importância econômica e a tecnologia de enraizamento de estacas se consolida como o método mais econômico para propagação em larga escala (COX, 2018). Consiste em multiplicar assexuadamente partes de plantas, denominados propágulos (células, tecidos ou órgãos), que originam indivíduos geralmente idênticos à planta-mãe (FACHINELLO, 2005). Se baseia na totipotência das células vegetais, que corresponde ao fato das células vivas possuírem a informação genética necessária e/ou suficiente para originar uma planta completa e independente (COX, 2018).

Existem basicamente três técnicas de propagação vegetativa que são mais utilizadas: estaquia, mergulhia e enxertia. A estaquia é a mais utilizada e envolve procedimentos que combinam o isolamento do propágulo da planta matriz (folha, caule ou raiz) e o tratamento com reguladores de crescimento, plantando-se em seguida em substrato para induzir a formação de raízes adventícias e brotos, geralmente sob condições ambientais controladas (RAVI; MUTHUKUMAR, 2019). A mergulhia, por sua vez, concilia o enraizamento de uma porção do ramo ainda conectado à planta-matriz, melhorando as condições para que a rizogênese aconteça (TIBERTI *et al.*, 2012). Já a enxertia, objeto desse estudo, consiste na técnica de

junção de partes vivas de plantas diferentes e compatíveis, capazes de desencadear processos fisiológicos que resulte na regeneração e formação de tecidos responsáveis pela conexão e formação de uma planta geneticamente composta.

#### **2.4.1 O processo de Enxertia**

A enxertia é considerada uma alternativa de produção de mudas para espécies de difícil propagação por sementes ou por estacas, como diversas frutas e vegetais (FLORES *et al.*, 2010). Referências à enxertia aparecem na Bíblia, em textos da Grécia Antiga e da China Antiga, indicando que o enxerto era praticado na Europa, no Oriente Médio e na Ásia por pelo menos o século 5 a. C. (MELNYK *et al.*, 2015). É uma prática extremamente difundida, sendo amplamente utilizada em árvores frutíferas, algumas árvores florestais e plantas ornamentais e, nas últimas décadas, também com hortaliças (GOLDSCHMIDT, 2014).

O processo de enxertia consiste na junção de tecidos cortados, onde as células se dividem e o sistema vascular se diferencia através de um processo de regeneração entre dois indivíduos, formando uma quimera (MELNYK, 2017). Após o corte, os tecidos aderem e a expansão e divisão celular leva à formação, no local da ferida, de tecido indiferenciado denominado de calo (SUGIMOTO; JIAO; MEYEROWITZ, 2010; IWASE *et al.*, 2011). Calos e tecidos ao redor do corte diferenciam-se no floema e no xilema antes que os feixes vasculares estejam conectados entre o enxerto e o porta enxerto (MELNYK *et al.*, 2015).

O principal objetivo da enxertia é reduzir a juvenilidade elevada que é observada em plantas oriundas de mudas seminais, pela notória precocidade das plantas enxertadas (FLORES *et al.*, 2010). Do ponto de vista fitotécnico, em especial na horticultura, a técnica de enxertia é realizada para aumentar o vigor, aumentar a produtividade, estabelecer resistência e / ou tolerância à doenças do solo, induzir tolerância ao estresse abiótico, aumentar o tamanho do fruto, modificar as características de qualidade do fruto (UREÑA; CARDENAS; FERRE, 2020).

Atualmente, essa técnica tem se expandido consideravelmente com o objetivo de reduzir infecções por patógenos transmitidos pelo solo e para o aumento da tolerância contra estresses abióticos (SCHWARZ *et al.*, 2010). Diversos estudos têm demonstrado a eficiência da enxertia para contornar diversas limitações ao cultivo, permitindo a obtenção de mudas por meio do uso de porta-enxertos com maior tolerância aos estresses térmico (MUNEER *et al.*, 2016; GAION, 2017), déficit hídrico (SALAZAR, 2016; KUMAR *et al.*, 2015) alagamento (BHATT *et al.*, 2015; FULLANA-PERICÀS, 2020), alcalinidade do solo (COLLA *et al.*, 2013), deficiência de nutrientes (HUANG *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2014) e toxicidade de metais pesados (SAVVAS *et al.*, 2010; KUMAR *et al.*, 2015), salinidade (LIMA *et al.*, 2020) e patógenos (MANICKAM *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2020).

#### **2.4.2 Fatores que determinam o sucesso da enxertia**

O estabelecimento da união bem-sucedida entre enxerto e porta-enxerto, a sobrevivência prolongada, bem como o crescimento adequado da planta enxertada caracterizam a compatibilidade e define o sucesso da enxertia. No entanto, a proximidade taxonômica é um pré-requisito geral para o sucesso do enxerto e sobrevivência a longo prazo da planta composta enxertada (GOLDSCHMIDT, 2014).

Nesse contexto, Melnyk *et al.* (2015) esclarecem que as plantas podem ser formadas pela combinação de enxerto e porta-enxerto com genética diferente como os genótipos (enxertia intraespecífica) ou espécies (interespecíficos), ambos denominados heteroenxertos; ou com a mesma genética (a mesma espécie nela mesma), neste caso é denominado homoenxerto e são considerados padrão de compatibilidade, servindo como controle do processo de enxertia.

O sucesso inicial da enxertia, consiste no desenvolvimento de três etapas principais, a multiplicação celular para proliferação de calo com estabelecimento de contato entre os sistemas vasculares do enxerto e do porta-enxerto, a diferenciação de células parenquimáticas de calo em novas células cambiais, que conectam os vasos e a formação de novos floema e xilema (COX, 2018; PINA *et al.*, 2017).

Não obstante, para que essa conexão seja bem-sucedida, o controle ambiental adequado é fundamental. No geral, as mudas enxertadas exigem uma temperatura de 25-30 °C e cerca de 95% de umidade para prevenir o ressecamento e estimular a divisão celular (LEE, 2007). Além disso, é importante o controle de infecções por patógenos através da higienização das mãos, desinfecção dos materiais propagativos, materiais utilizados na enxertia e ferramentas.

Por outro lado, os enxertos nem sempre são bem-sucedidos quando diferentes genótipos são enxertados, resultando em problemas de união e regeneração de tecidos (GOLDSCHMIDT, 2014). Sabe-se também que a cicatrização inicial da união do enxerto não garante, por si só, compatibilidade a longo prazo. Existem espécies nas quais os sinais da incompatibilidade surgem em menos de um mês do pegamento (ALONI *et al.*, 2010), já outras podem apresentar incompatibilidade tardia, dentro do prazo que varia de três a cinco anos (BARON *et al.*, 2019).

Em estudos de compatibilidade de enxertia da pimenteira-do-reino, Empari e Sim (1986) revelaram que, embora a pimenteira-do-reino e *Piper colubrinum* Link sejam dicotiledôneas, sua estrutura de caule se assemelha à de monocotiledôneas, com feixes vasculares espalhados o que teoricamente dificulta a combinação de todos os feixes vasculares do enxerto com o porta-enxerto. Em estudos anatômicos mais atuais observou-se que, devido ao arranjo peculiar dos feixes vasculares nas espécies de *Piper*, a correspondência de todos os feixes vasculares de enxerto e porta-enxerto torna-se difícil. Contudo, a união completa dos tecidos parenquimatosos do enxerto e porta-enxerto foi formada dentro de seis meses após a enxertia (GEORGE, 2019)

Outro fator de grande importância nos estudos de enxertia é a definição da técnica correta. Nesse sentido, diversas técnicas têm sido desenvolvidas, como enxertia de garfagem, borbúlia, encostia, microenxertia e suas variações (COX, 2018). Em pimenteira-do-reino, estudos sobre técnicas de enxertia são incipientes e escassos, uma vez que na grande maioria dos estudos, utilizam-se da técnica de garfagem de topo em fenda cheia, o que demonstra a necessidade de se investigar variadas técnicas com potencial para a produção de mudas enxertadas de qualidade.

Uma das técnicas utilizadas é a garfagem lateral, que consiste em introduzir o enxerto cortado em forma de cunha em sua base em uma incisão feita lateralmente

na planta, mantendo-se por um período de tempo determinado a copa deste porta-enxerto (SODRÉ, 2017). Essa técnica tem sido bastante empregada em fruticultura, obtendo-se bons percentuais de pegamento. Em cacauzeiro, este método é indicado para enxertia de mudas seminais (porta-enxerto) no campo ou viveiro, apresentando índice de pegamento acima de 80% (SODRÉ, 2017). A enxertia por garfagem lateral também foi considerada eficiente para o maracujazeiro do clone 'Rubi' (CHAVES *et al.*, 2004) e para mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) (LEMOS *et al.*, 2010). Em estudo recente, Crasque *et al.*, (2021) obtiveram sucesso com a enxertia lateral de pimenteira-do-reino em espécies selvagens.

### **2.4.3 Avaliação da eficiência da enxertia**

A avaliação da eficiência da enxertia está intimamente relacionada à avaliação da qualidade das mudas enxertadas. O lote de mudas de alta qualidade deve ser formado por plantas uniformes e com determinadas características biométricas consideradas importantes pelos agricultores, que geralmente se baseiam no desenvolvimento da parte aérea. As mudas devem possuir adequado padrão de comprimento ou altura e espessura do caule, contendo folhas desenvolvidas e com aparência saudável (ausência de sinais de deficiência nutricional ou quaisquer distúrbios metabólicos). O sistema radicular deve estar bem desenvolvido, porém, a muda deve apresentar boa proporção entre o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea (LEE, 2010).

Os critérios na seleção das mudas para o plantio são baseados em parâmetros que, na maioria das vezes, não determinam as reais qualidades. Quando se visa produção de mudas em escala comercial, com mudas homogêneas, a emissão de raízes em maior número, volume e maior alocação de massa é fator primordial, pois um sistema radicular bem desenvolvido favorece a absorção de nutrientes e água, conferindo maior tolerância aos estresses causados pela restrição destes, além de permitir um maior desenvolvimento posterior da muda em campo.

Alguns autores consideram que a massa seca de raízes é o melhor parâmetro para se estimar o crescimento inicial de mudas, pois o ganho de massa está diretamente relacionado com vigor das estacas após o enraizamento, essa característica está em função da maior capacidade de transformação dos tecidos e suprimento de reservas de tecidos de armazenamento (FRANCISCO *et al.*, 2015).

O uso de modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas foi definido por Benincasa (2003) como análise de crescimento, considerando-a como parte da fisiologia vegetal que quantifica os resultados dos processos fisiológicos, principalmente aqueles relacionados à atividade fotossintética. Quando se pretende explicar as diferenças no crescimento de plantas de ordem genética ou resultante de modificações na planta ou no ambiente, utiliza-se a análise quantitativa de crescimento. Como o crescimento é avaliado por meio de variações de tamanho de algum aspecto da planta, geralmente morfológico, em função da acumulação de material resultante da fotossíntese líquida, este passa a ser o aspecto fisiológico de maior importância para a análise de crescimento (PEIXOTO, 2009)

A análise quantitativa de crescimento tem sido usada por pesquisadores de plantas, na tentativa de explicar diferenças no crescimento, que podem ser afetados diretamente por fatores ambientais como a luz, a temperatura, a concentração de gás carbônico, disponibilidades de água e nutrientes, que afetam a taxa assimilatória líquida, a taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar, etc. destas plantas (REIS; MULLER, 1979). De acordo com Peixoto (2009), sua utilização permite estimar-se, com bom nível de precisão, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas que receberam tratamentos diferenciados.

Em estudos científicos, Peixoto (2009) aduz que o crescimento de uma planta pode ser estudado através de medidas que se relacionem com o resultado dos processos fisiológicos ocorridos a depender do objetivo do experimentador, disponibilidade de mão-de-obra, equipamentos, etc. Diversos métodos podem ser utilizados, dentre eles, a contagem de unidades, as medidas de superfície, matéria seca, volume das unidades estruturais da planta como folhas, brotos, folhas raízes e frutos podem fornecer informações sobre a fenologia e são muito usados para detectar diferenças entre os tratamentos estabelecidos.

Quando se trata da produção de mudas, umas das avaliações mais utilizadas para demonstrar sua qualidade é o índice de qualidade de Dickson (IQD), pois segundo Dickson *et al.*, (1960) esse parâmetro prediz a qualidade das mudas no viveiro, uma vez que engloba vários parâmetros morfológicos importantes para caracterizar a sobrevivência e a qualidade de mudas, dentre eles o cálculo de robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda. Assim, as relações estabelecidas nesse índice demonstram o equilíbrio entre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (MELO; CUNHA, 2008).

#### **2.4.4 Enxertia da Pimenteira-do-Reino**

A enxertia da pimenteira-do-reino em espécies selvagens resistentes constitui uma opção para o controle da fusariose e demais doenças de solo que acometem a cultura. Estudos anteriores sobre enxertia, utilizando como porta-enxerto espécies nativas, foram realizados no Brasil e na Índia, apresentando bons resultados no controle de doenças de solo e pegamento de enxerto, alcançando diferentes percentuais de sucesso na formação de mudas por meio desta técnica.

No Brasil, os primeiros estudos científicos de enxertia de pimenta-do-reino foram publicados no final da década de 70, quando Albuquerque (1968), em experimento realizado no Pará com espécies do gênero *Piper*, utilizou a técnica de enxertia de topo em fenda cheia de pimenta-do-reino em porta-enxerto de *Piper colubrinum*, alcançando excelentes resultados, com 98% de pegamento, além de demonstrar resistência à *Phytophthora palmivora* e *Fusarium solani* f. sp. *piperis*, através da inoculação em mudas cultivadas em vasos. No entanto, estudos posteriores executados por Barriga (1982) com esses mesmos genótipos, em condições de cultivo no campo, constataram a incompatibilidade da enxertia no quarto ano de cultivo.

Posteriormente, experimentos realizados no Brasil em Porto Rico com genótipos de *P. nigrum* enxertados em *P. colubrinum* e cultivados a pleno sol, em condições de campo, Alconero *et al.* (1972), comprovaram a resistência dessa à infecção por dois

isolados de *Phytophthora palmivora*. Além disso, esses autores consideraram boa a compatibilidade da enxertia das cultivares testadas com *P. colubrinum* nos primeiros quatro anos de idade, embora não tenham recomendado plantios comerciais destas, concluindo que não houve compatibilidade total devido à alta taxa de mortalidade aos 4 anos de idade.

Buscando identificar novas espécies de *Piper* resistentes à fusariose, Albuquerque *et al.* (2001), fizeram um novo estudo no Pará, onde detectaram como resistentes as espécies *Piper aduncum* Link, *P. arboreum* Aubl., *P. carniconnectivum* C.DC., *P. colubrinum* Link, *P. hispidinervium* C.DC., *P. hispidum* Sw., *P. hostmannianum* (Miq.) C.DC., *P. tuberculatum* Jacq., após a inoculação com dois isolados de *Nectria haematococca f. sp. Piperis*, a forma teomórfica do fungo *Fusarium solani f. sp. Piperis*, em mudas de pimenteira-do-reino com três meses de desenvolvimento, cultivadas em vasos, e condições de viveiro telado. No entanto, para a maioria dessas espécies ainda não foram realizados testes de compatibilidade de enxertia com cultivares de pimenteira-do-reino, visando a produção de mudas resistentes.

No intuito de avaliar a influência das variedades e estação do ano no desenvolvimento do enxerto, foi realizado um estudo preliminar na Índia em 2000 por Vanaja *et al.* (2007), no qual oito variedades de *P. nigrum* foram enxertadas mensalmente, durante um ano em porta-enxertos de *P. colubrinum*, cultivando essas mudas em sacolas, em condições de viveiro 50% sombreado e irrigação diária. Com esse estudo os autores obtiveram, nos meses de fevereiro e março, altos índices de sucesso, com até 100% de pegamento. Esse estudo indica que as condições climáticas que variam de com a época do ano, assim como as variedades de *P. nigrum* utilizadas como enxertos podem influenciar no índice de sucesso da enxertia.

Em pesquisa de enxertia com as cultivares Subhakara e Panniyur-1 sobre *P. colubrinum* e *Piper hymenophyllum* Miq., cultivadas em estufa na Índia, Janani (2009) obteve sucesso de 62 % no pegamento, além de concluir que esses porta-enxertos exibiram resistência múltipla a *Phytophthora*, *Fusarium solani f. sp. Piperis* e nematóides patogênicos.

Por um longo período de tempo as pesquisas sobre a enxertia da pimenteira-do-reino ficaram estagnadas. Entretanto, na última década esses estudos foram retomados a fim de se confirmar o potencial da enxertia para a produção de mudas resistentes ou resistentes à patógenos de pimenteira-do-reino no Brasil. Bastos e Santos (2016) em experimento desenvolvido no estado do Pará, em casa de vegetação e em laboratório constataram que mudas de 5 a 6 meses de pimenteira-do-reino enxertados em *P. reticulatum*, e seus ramos ao serem inoculados com *Fusarium solani f. sp. Piperis* apresentaram resistência à ação patogênica além de comprovarem a compatibilidade, obtendo plantas saudáveis e produtivas. Esses pesquisadores também identificaram uma possível transferência de resistência do porta-enxerto para o enxerto, provavelmente através do transporte de metabólitos secundários. Contudo, são necessários estudos aplicados em condições de campo para comprovar, de fato, essa estratégia.

Na Índia, uma pesquisa de triagem de resistência contra *Phytophthora capsici* foi feita por Chinnappa *et al.* (2018), que produziram mudas enxertadas, cultivadas em sacolas de polietileno em condição de estufa, utilizando o método de enxertia de topo em fenda cheia em porta-enxertos as espécies *P. colubrinum*, *Piper argyrophyllum* Miq. e as variedades de *P. nigrum* IISR Sakthi e IISR Thevam, enquanto as variedades Panniyur 1 e Karimunda foram usadas como copa. Nesta pesquisa, identificou-se como altamente resistentes e resistentes os porta-enxertos de *P. colubrinum* e *P. argyrophyllum*, respectivamente e como resistentes os enxertos de Karimunda, obtendo-se pegamento de 81,2% com o uso da cultivar de pimenta-do-reino Karimunda, seguido da cultivar Panniyur 1, com 76,2 % de sucesso de pegamento aos 90 dias após a enxertia. Já Lakshmana, Hanumanthappa e Sunil (2016), utilizando garfagem de topo também com Panniyur-1 sob *P. colubrinum*, observaram 86% de sucesso das plantas enxertadas a partir de ramos ortotrópicos e 95% de plantas enxertadas a partir ramos plagiotrópicos, indicando que o tipo de ramo também pode influenciar nos resultados da enxertia, embora que para plantios comerciais são utilizados apenas os ramos ortotrópicos, devido aos seu padrão de crescimento.

Com o objetivo de avaliar diferentes métodos de enxertia, Aarthi e Kumar (2019) testaram o método denominado de "Stenting" (estaquia e enxertia ao mesmo tempo),

usando estacas de 3 a 5 nós de *P. attenuatum* e *P. hymenophyllum* como porta-enxertos e as cultivares Panniyur-1 e Karimunda como enxertos, obtiveram 42,78% de pegamento com a espécie *P. attenuatum* Buch, 120 dias após a enxertia.

Em experimento de enxertia de Pimenteira-do-reino utilizando as técnicas de enxertia de garfagem de topo e inglês simples em porta-enxertos de *Piper colubrinum* e *Piper betle* Linn, variedades folhas grandes e folhas pequenas, cultivados em vasos, em condições de estufa, no Vietnan, Nguyen *et al.* (2020) encontraram, após 90 dias de enxertia, 81,7% de taxa de sucesso com o uso da garfagem de topo em *P. coulmbrium*.

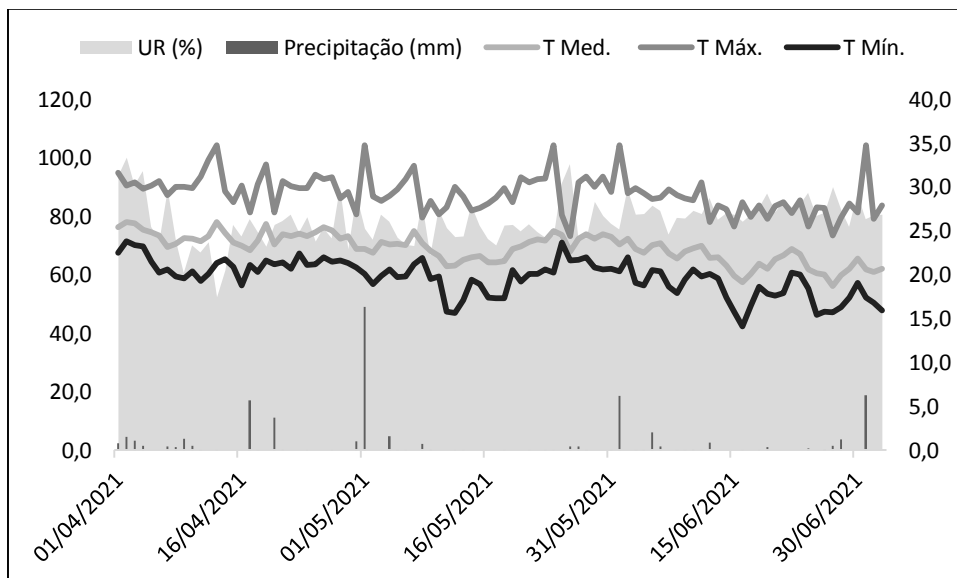
Em estudo inédito de enxertia lateral, recentemente publicado no Brasil, Crasque *et al.* (2021) experimentaram a combinação intraespecífica de *P. nigrum* sobre cultivares ('Kottanadan' e 'Bragantina') e interespecífica sobre espécies selvagens de Piper (*P. aduncum*, *P. tuberculatum* e *P. hispidum*) em que observou-se que *P. tuberculatum* possui incompatibilidade precoce e que os demais porta-enxertos não alteraram a sobrevivência, os parâmetros fotossintéticos e a qualidade das mudas. Dentre os genótipos testado, os autores concluíram que *P. aduncum* é o melhor porta-enxerto para a enxertia.

Embora esses estudos comprovem a resistência de diferentes espécies de *Piper* à fusariose e demais doenças de solo e atestem a compatibilidade da enxertia inicial da pimenteira-do-reino em cultivares e algumas espécies selvagens, é notório a necessidade de ampliar os estudos entre genótipos e espécies nativas, visando gerar recomendações técnicas que possibilitem o plantio mais sustentável em áreas contaminadas. Além disso, a interação com o tipo de técnica de enxertia precisa ser melhor entendida, visto que na maioria desses estudos o método que tem sido amplamente utilizado é a garfagem de topo em fenda cheia.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Este experimento foi realizado em viveiro, localizado município São Mateus, região norte do estado do Espírito Santo, latitude 18°41'44.59" S e longitude 40° 1'19.55" O, no período de março a junho de 2021. A classificação climática de Thornthwaite e Köppen do município é do tipo Aw. Os dados climáticos durante o período de realização do experimento foram obtidos na estação meteorológica automática de São Mateus, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através da qual se aferiu os valores médios diários de temperatura mínima, média e máxima de 14,1 ° C, 23 ° C e 34,8 ° C, respectivamente, precipitação acumulada de 167,6 mm e umidade relativa média de 78,5 % (INMET, 2021) (Figura 1).



**Figura 1.** Dados meteorológicos no período experimental.

Fonte: INMET (2021)

O viveiro é equipado com irrigação por microaspersão de acionamento automático intermitente, coberto com tela de sombreamento de 50% preta e laterais fechadas com tela antiafídica (Apêndice A).

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições de 27 plantas por parcela. Adotou-se o arranjo fatorial 6 x 2, composto por seis porta-enxertos e dois métodos de enxertia. Os porta-enxertos avaliados foram quatro espécies nativas de *Piper* (*Piper aduncum* Link, *Piper tuberculatum* Jacq., *Piper marginatum* Jacq. e *Piper hispidum* Kunth e duas cultivares de *Piper nigrum* L. ('Kottanadan do broto branco' e 'Bragantina'). Foram avaliados os métodos de garfagem de topo em fenda cheia e garfagem lateral em fenda cheia.

### 3.3 PRODUÇÃO DOS PORTA-ENXERTOS DE ESPÉCIES NATIVAS

A produção das espécies nativas foi iniciada em setembro de 2020 com a semeadura dos porta-enxertos no laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-Colheita da Fazenda Experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizada à latitude 19°25'00" S e longitude 40°04'35" O, no município de Linhares, região Norte do estado do Espírito Santo. As espécies selvagens foram propagadas por sementes obtidas de plantas matrizes do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) do Incaper.

As mudas de porta-enxertos das espécies nativas foram obtidas conforme descrito em Dousseau *et al.* (2015) para *Piper mollicomum* Kunth, com adaptações. As sementes foram pré-germinadas em caixas de plástico transparente Gerbox contendo como substrato uma folha de papel mata-borrão (tipo Germibox) umedecido e mantidas em câmara de germinação do tipo Mangesdorf (Marconi) a 20 °C, por 30 dias. Após esse período, as plântulas foram transferidas para os berçários compostos por bandejas de polipropileno expandido de 200 células, contendo substrato organomineral Plantmax®, onde permaneceram por mais 60 dias em sala de crescimento, com iluminação artificial e irrigação uma vez ao dia por meio de regador (Figura 2).



**Figura 2.** Plântulas de espécies selvagens de *Piper* em sala de crescimento.

### 3.4 PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTOS DAS CULTIVARES

A produção dos porta-enxertos das cultivares de *Piper nigrum* L, iniciou-se em outubro de 2020 em viveiro coberto com 50% de sombreamento, equipado com irrigação por microaspersão intermitente. As mudas das cultivares ‘Kottanadan Broto Branco’ e ‘Bragantina’ foram propagadas por meio de estacas provenientes de plantas matrizes cultivadas em jardim clonal próximo ao viveiro. Foram utilizadas estacas herbáceas de 5 a 6 cm com 1 nó e um par de folhas, coletadas da região mediana do ramo, desinfestadas através da imersão em solução fungicida de Cercobin® na dosagem de 0,8 mL L<sup>-1</sup> durante 5 minutos.

Após a secagem, foram aplicados 4.000 mg kg<sup>-1</sup> do regulador de crescimento ácido indolbutírico (AIB), via talco, na base das estacas, conforme método descrito por Secundino *et al.* (2012). Logo em seguida, procedeu-se ao estaqueamento em tubetes com capacidade para 280 cm<sup>3</sup> preenchidos com 75% do substrato comercial Basaplant® acrescido de 25% de palha de café, adubado com 2 gramas de superfosfato simples granulado e 1 grama do adubo de liberação lenta Basacot Mini 6 M®, fórmula NPK 16-08-12, com S, Mg e micronutrientes.

### 3.5 TRANSPLANTIO DAS MUDAS

Após 90 dias da sementeira das espécies nativas e 60 dias da estaquia das cultivares de *Piper nigrum*, todas as mudas foram transferidas para a área experimental, no viveiro Clonar ® em São Mateus-ES e efetuado o transplante para tubetes com capacidade de 450 cm<sup>3</sup>, preenchidos com substrato orgânico comercial Plantmax®, adubado com 3 gramas de adubo de liberação lenta Osmocote®, 6 meses, fórmula NPK 15-09-12 com micronutrientes, adaptando a adubação recomendada para a cultivar Guajarina, conforme recomendado por Serrano *et al.* (2012).

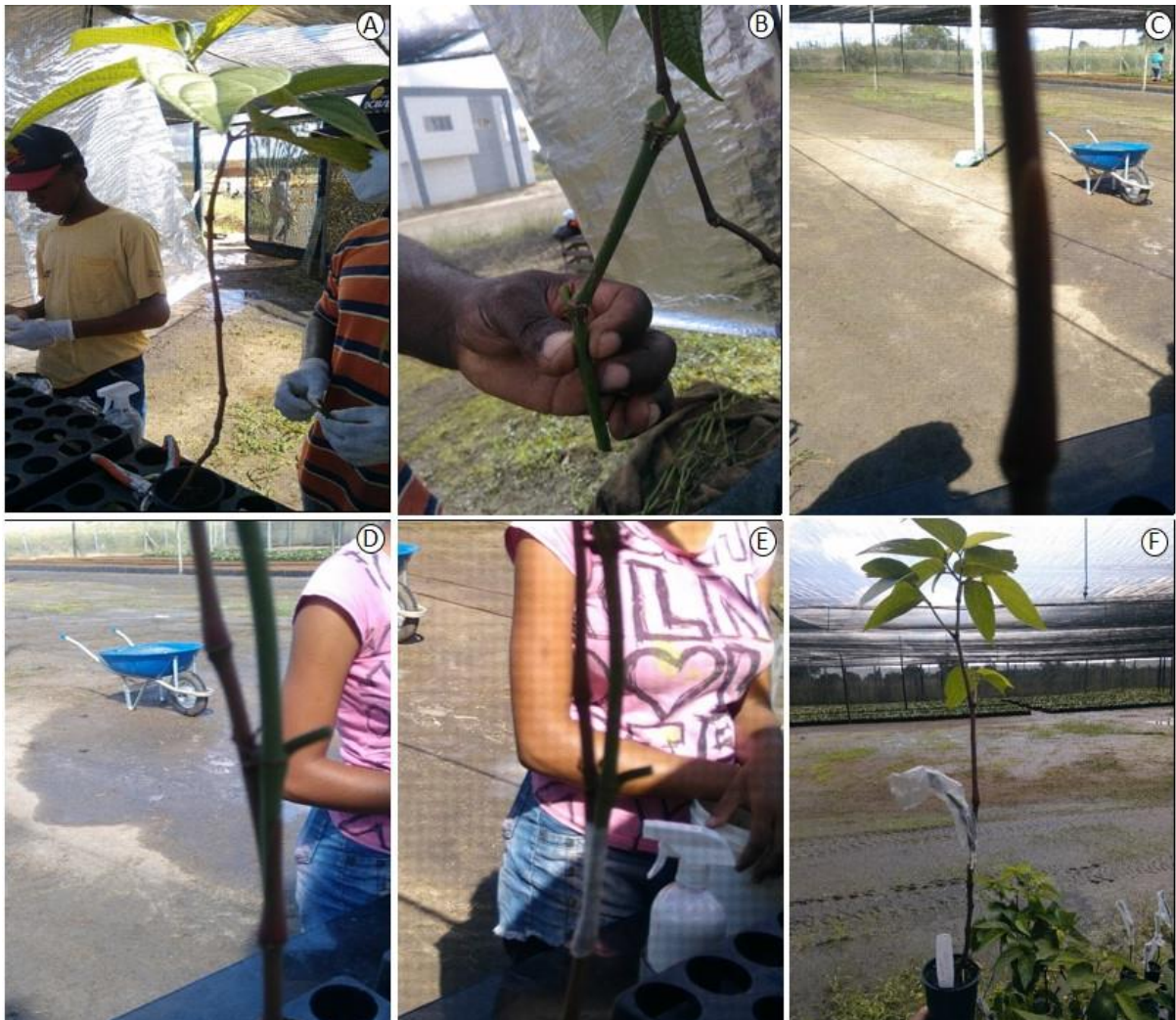
As partir daí, as plantas, foram irrigadas durante o dia através de microaspersores de acionamento automático por 40 segundos a cada 10 minutos de intervalo e vazão de 76 L h<sup>-1</sup>.

### 3.6 ENXERTIA

A enxertia foi realizada no mês de abril de 2021, momento em que os porta-enxertos atingiram entre 4,5 mm e 5,5 mm de diâmetro do caule, medido com paquímetro a 15 cm do solo. Foi feito o preparo das mudas de porta-enxerto uma semana antes da enxertia, retirando-se toda a brotação provenientes de gemas axilares. O material propagativo para a obtenção do enxerto foi retirado de plantas matrizes com 7 meses de idade, cultivadas em jardim clonal localizado ao lado da área experimental. Para isso, foram coletados ramos ortotrópicos com auxílio de tesouras de poda, das plantas matrizes

Foram selecionados ramos de diâmetro semelhante aos dos porta-enxertos, procedendo-se a retirada da parte apical e das folhas. Posteriormente, os ramos foram acondicionados em caixas plásticas, cobertas com sacos de juta umedecidos e levados ao local da enxertia, onde foi executada a desinfecção através da imersão por 5 minutos em solução fungicida de Carbendazim (1 mL L<sup>-1</sup>). A partir daí, procedeu-se o seccionamento dos enxertos, com corte reto no ápice e em bisel duplo, em forma de cunha na base, mantendo-os com dois nós e tamanho aproximado de 12 cm.

Para a enxertia de garfagem lateral em fenda cheia foram adotados os procedimentos descritos por Crasque *et al.* (2021) com adaptações. Foi feito um corte lateral no porta-enxerto com aproximadamente 3 cm a 15 cm de altura a partir do coleto da muda. Após a inserção do enxerto no porta-enxerto, foi realizado o amarrão com fita elástica biodegradável de 2,5 cm de largura. Logo após o procedimento da enxertia foi efetuada a pulverização com fungicida Carbendazin (princípio ativo) e o enxerto foi coberto com plásticos transparentes 6 x 25 cm amarrado com elástico nº 18, logo abaixo do ponto da enxertia. Nos primeiros dias após a enxertia, foi feita uma pequena incisão na base dos sacos plásticos para permitir o escoamento da água que se acumulava em seu interior.



**Figura 3.** Enxertia de garfagem lateral. A – Porta-enxerto. B- Enxerto. C- corte na lateral do porta-enxerto. D- Junção do enxerto ao porta-enxerto. E- Amarrio com fita elástica biodegradável. F- finalização da enxertia com a colocação da sacola para formar a câmara úmida.

Na execução do método de garfagem de topo em fenda cheia foi utilizado como base os procedimentos descritos por Albuquerque (1968), com adaptações. A parte aérea dos porta-enxertos foi retirada na altura de aproximadamente 15 cm do coleto da muda, no entrenó, onde foi uma incisão vertical no meio da seção cortada com 3 cm de profundidade. Após a união do enxerto com o porta-enxerto, foram adotados os mesmos procedimentos descritos para o método de garfagem lateral (Figura 4).



**Figura 4.** Enxertia de garfagem de topo. A – Porta-enxerto. B- Enxerto. C- corte vertical do porta-enxerto. D- Junção do enxerto ao porta-enxerto. E- Amarrio com fita elástica biodegradável. F- finalização da enxertia com a colocação da sacola para formar a câmara úmida.

Aos 30 dias dias, com surgimento das primeiras folhas abertas, procedeu-se a remoção dos sacos plásticos e, 15 dias após foi feito a decapitação da parte aérea dos porta-enxertos, no método de garfagem lateral.

As irrigações foram mantidas por meio de microaspersão até o final do experimento. Os tratos fitossanitários foram realizados através da aplicação de

fungicidas, acaricida e inseticida para o controle de lagarta. O manejo de plantas daninhas foi feito por meio de capinas manuais.

### **3.7 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS**

#### **3.7.1 Porcentagem de brotação, folhas e sobrevivência**

As avaliações de porcentagem de brotação do enxerto, número de brotos do porta-enxerto e a sobrevivência foram iniciadas aos 30 dias após a enxertia e repetidas quinzenalmente até o final do experimento aos 90 dias após a enxertia. A porcentagem de brotação foi obtida por meio da contagem de brotos, considerados a partir do surgimento dos primórdios foliares. Os brotos do porta-enxerto foram contabilizados a partir do momento em que era possível destacá-los da planta. As folhas foram contabilizadas a partir do início de sua abertura. Foram consideradas mortas as mudas cujo enxertos estavam com aspecto desidratado ou necrosado, independentemente da sobrevivência dos porta-enxertos.

#### **3.7.2 Alocação de massa seca e qualidade de mudas**

Ao final do experimento, as mudas foram levadas ao laboratório de fisiologia vegetal do Incaper, onde foram aferidos os parâmetros de desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular, partição de biomassa seca, índice de qualidade de Dickson e índice SPAD. Avaliações foram efetuadas em todas as plantas que sobreviveram na parcela útil de cada repetição. O dimensionamento da parte aérea foi obtido através do comprimento de do porta-enxerto (CPE), comprimento de broto (CB), e diâmetro do caule (DC), número de brotos, folhas e área foliar.

Para a determinação do comprimento do porta-enxerto (CPE) foi utilizada régua graduada, medindo-se desde o coleto ou a inserção com a estaca até a parte seccionada para a enxertia. O diâmetro do caule foi medido no segundo entre nó de

cada ramo ortotrópico, de baixo para cima, utilizando um paquímetro digital. O comprimento do broto foi determinado desde a sua inserção até a última gema apical. A área foliar total (AFT) foi obtida através do medidor LI - COR 3100. As análises de comprimento do sistema radicular foi obtido mediante régua graduada, medindo-se a maior raiz, enquanto que o volume de raízes (VR) foi aferido através do método de deslocamento de volume, através do uso de proveta de 1000 ml.

A biomassa seca do sistema radicular (MSR), do porta-enxerto (MSPE) e das folhas (MSF), foi obtida após as avaliações anteriormente descritas e secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até peso constante. O porta-enxerto foi fracionado em partes menores para facilitar a secagem em estufa. A pesagem foi efetuada em balança de precisão 0,01 g. De posse destes resultados, foi calculada a biomassa seca da parte aérea (MSPA), obtida pela soma da MSPE com a MSB e a MSF e a biomassa seca total (MST), através da soma da MSPA e MSR.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi determinado através da aplicação dos dados de crescimento, desenvolvimento e biomassa seca na equação de Dickson, sendo  $IQD = MST / [(CC/DC) + (MSPA/MSR)]$  (DICKSON *et al.*, 1960).

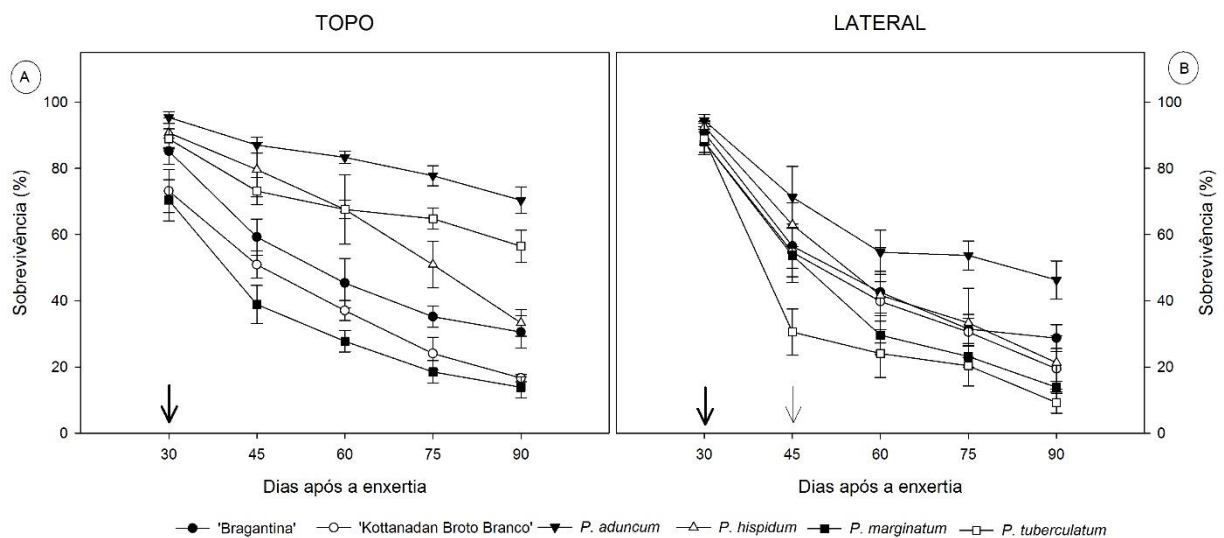
O índice SPAD (intensidade de cor verde) foi avaliada em uma folha completamente expandida por parcela, utilizando um Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502 "Soil Plant Analyser Development".

### **3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

As médias foram submetidas à transformação de dados por meio da fórmulas  $(x + 0,5)^{0,5}$ , exceto para os dados de porcentagem, os quais foram analisados com seus valores originais. As análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011), através do qual foi efetuadas a análise de variância e a comparação de médias, pelo teste de agrupamentos de médias Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS

Como resultado das avaliações de desenvolvimento das mudas enxertadas em viveiro, constatou-se que a sobrevivência das mudas foram diminuindo no decorrer do experimento, encontrando-se maiores taxas de sobrevivência aos 30 dias após a enxertia, esses números caem após 90 dias de enxertia. Entretanto, verifica-se que o uso do porta-enxerto *P. aduncum* possibilitou maior estabilidade para a curva de sobrevivência, apresentando maiores taxas ao longo de todo o período experimental em ambos os métodos de enxertia. Por outro lado, mudas formadas com o porta-enxerto *P. marginatum* obtiveram menores taxas de sobrevivência em ambos os métodos. No geral, a enxertia de topo foi superior para a maioria dos genótipos quanto à sobrevivência das mudas, com quedas mais acentuadas quando foi utilizada a garfagem lateral, sobretudo logo após 30 e 45 dias da enxertia, momentos em que foram retiradas as sacolas que cobriam os enxertos e cortadas as copas dos porta-enxertos, respectivamente (Figura 5).

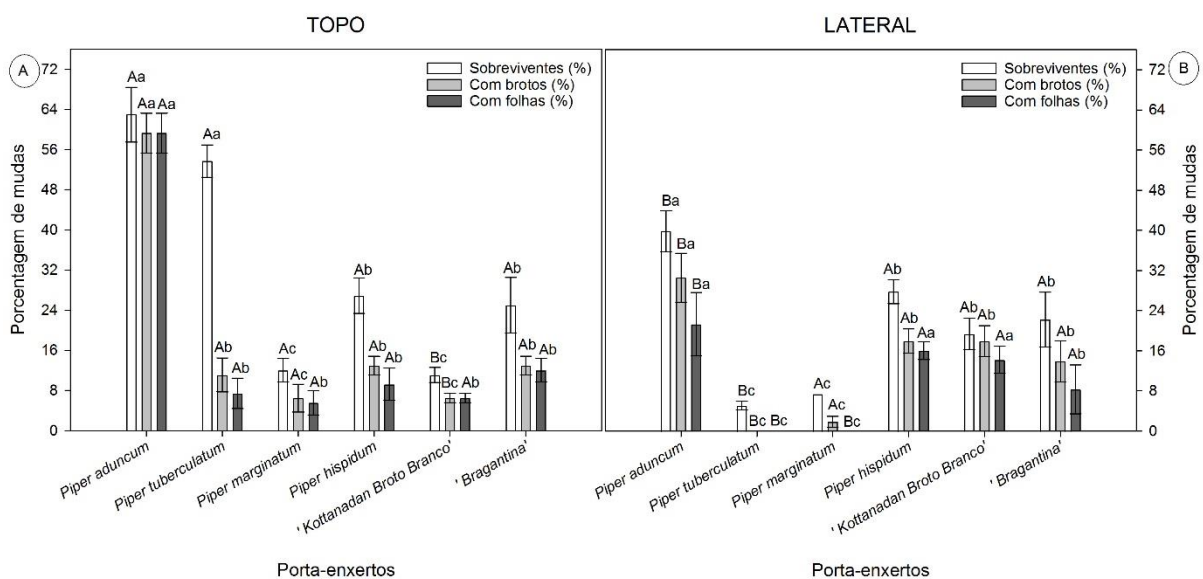


**Figura 5.** Porcentagem de sobrevivência ao longo do tempo de pimenta-do-reino 'Bragantina' sob diferentes porta-enxertos no método garfagem de topo em fenda cheia (A) e garfagem lateral em fenda cheia (B). A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições. As setas com linhas grossas indicam o momento da retirada das sacolas que cobriam os enxertos e a seta com linha fina indica o momento do corte da copa do porta-enxerto na garfagem lateral.

A final do experimento, verificou-se que os genótipos avaliados influenciaram nos resultados de sobrevivência apresentados pelos métodos de enxertia. A garfagem de topo foi superior para os genótipos *P. aduncum* e *P. tuberculatum*, com 63% e 53,7% de sobrevivência, respectivamente. No o método de enxertia lateral o genótipo *P. aduncum* também morreu menos que os demais, obtendo 39,8% de sobrevivência, contrastando com *P. tuberculatum* com 4,9% e *P. marginatum* com 7,4% de taxa de sobrevivência (Figura 6).

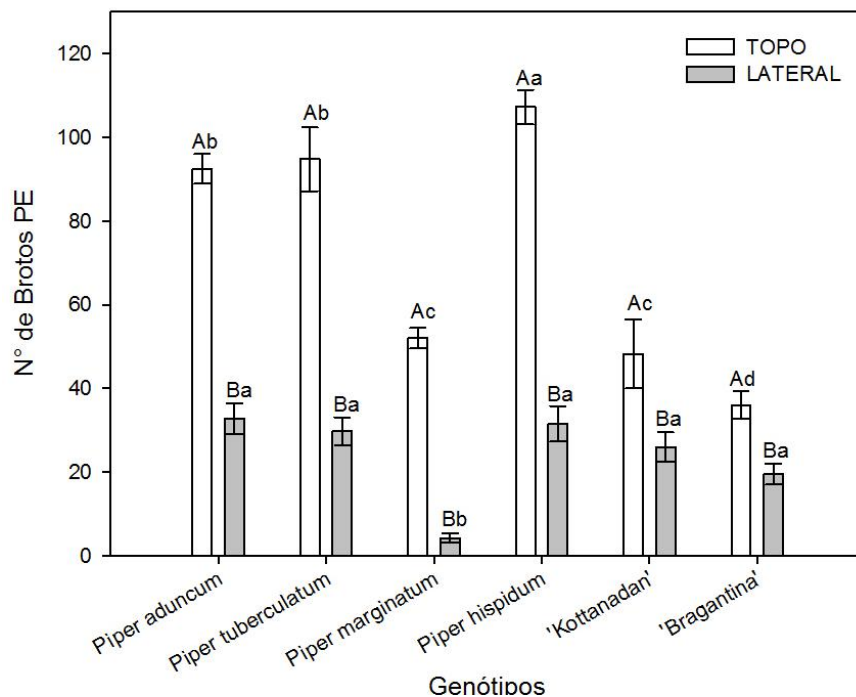
O desenvolvimento da parte aérea foi bastante afetado pela interação enxerto-porta-enxerto. Os resultados de percentual de brotação e de emissão de folhas no final do experimento revelam que 86 dias após a enxertia nem todas as plantas que sobreviveram emitiram brotos e folhas, não caracterizando o pegamento do enxerto e a formação de uma nova muda (Apêndices B e C). Verifica-se ainda que o método de enxertia de topo proporcionou maior taxa de pegamento para os genótipos estudados, e que o genótipo *P. aduncum* foi superior para ambos os métodos de enxertia, alcançando 59,3% de emissão de folhas na enxertia de topo (Figura 6). Os porta-enxertos de *P. marginatum* e *P. tuberculatum* não obtiveram sucesso para o desenvolvimento de brotos e folhas da pimenteira-do-reino, utilizando o método de enxertia lateral.

A alta taxa de sobrevivência na enxertia de topo em *P. tuberculatum* não resultou em bom percentual de brotação do enxerto, alcançando apenas 7,4% de emissão de folhas após 90 dias após a enxertia.



**Figura 6.** Sobrevivência, porcentagem de mudas brotadas e com folhas da enxertia de pimenteira-do-reino 'Bragantina' sobre diferentes porta-enxertos nos métodos garfagem de topo em fenda cheia (A) e garfagem lateral em fenda cheia (B). A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições. As setas com linhas grossas indicam o momento da retirada das sacolas que cobriam os enxertos e a seta com linha fina indica o momento do corte da copa do porta-enxerto na garfagem lateral. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo que as maiúsculas comparam os métodos de enxertia para cada porta-enxerto e minúscula comparam os porta-enxertos em cada método.

Os porta-enxertos apresentaram diferentes níveis de vigor ao emitir brotações axilares na região próxima ao coleto, mensuradas aos 30 dias após a enxertia, os quais foram influenciados pelo método de enxertia. A garfagem de topo proporcionou maior emissão de brotos para todos os genótipos estudados, apresentando 67% mais brotações à enxertia lateral. Na garfagem de topo, *P. hispidum* foi o que mais brotou, sendo contabilizados 107 brotos, diferindo de forma significativa dos demais, seguido de *P. tuberculatum* e *P. aduncum* com médias de 94,7 e 92,5 brotos, respectivamente. Por outro lado, menores valores de brotação foram observados para *P. marginatum* e as cultivares de *P. nigrum*, com menor número de brotos emitido por 'Bragantina' com apenas 36 brotos emitidos na parcela. Já entre mudas submetidas à enxertia lateral de fenda cheia, o único genótipo que se diferenciou significativamente dos demais foi a espécie *P. marginatum*, que praticamente não emitiu brotação ((Figura 7).

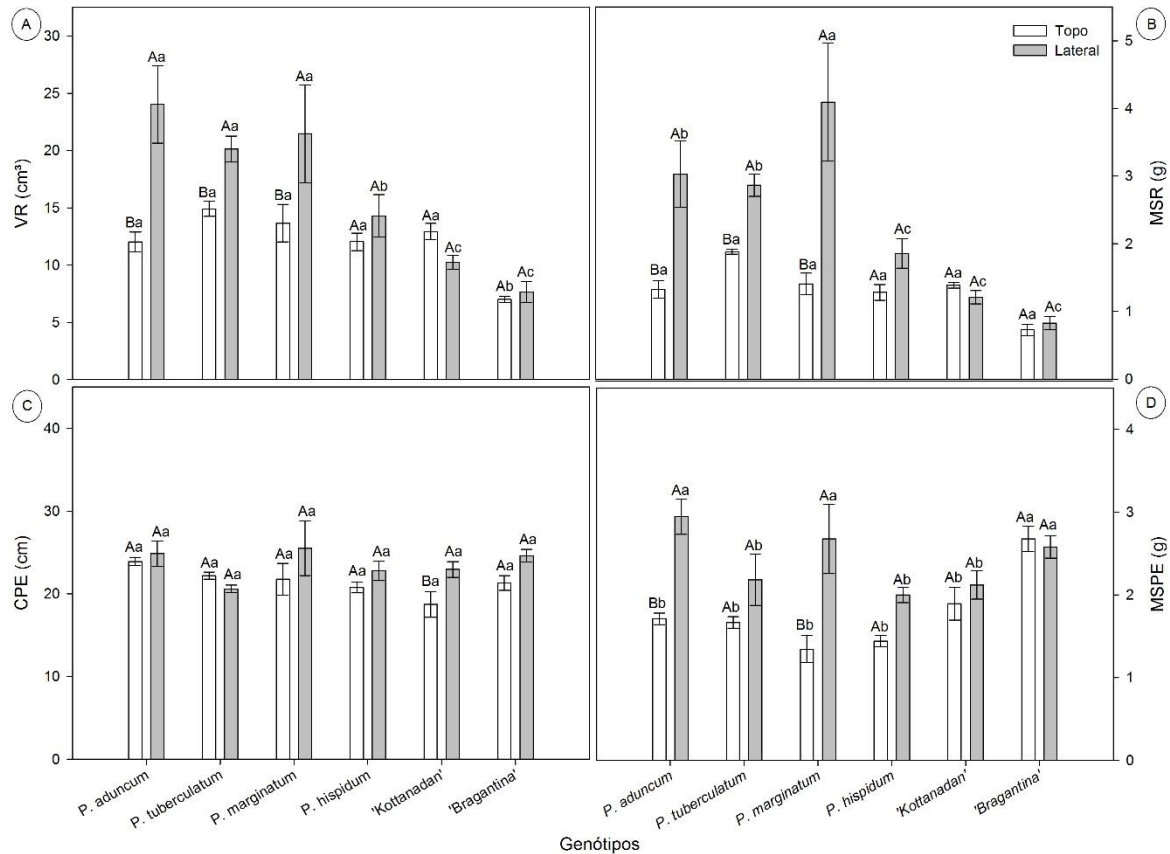


**Figura 7.** Número de brotos do porta-enxerto aos 30 dias após a enxertia de diferentes porta-enxertos submetidos à garfagem de topo em fenda cheia (Topo) e garfagem lateral em fenda cheia (Lateral). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre métodos e minúscula entre genótipos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott no nível de probabilidade de 5%. A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições.

O volume de raiz (VR) foi maior entre os genótipos enxertados por meio da técnica de garfagem lateral, com destaque para os genótipos de espécies nativas *P. aduncum*, *P. marginatum* e *P. tuberculatum*, que foram superiores às cultivares de pimenteira-do-reino (Figura 8 A). Comportamento semelhante pode ser observado para a massa seca de raiz (MSR), em que os maiores valores foram observados para a enxertia lateral e as espécies nativas, com destaque para espécie *P. tuberculatum*, seguida de *P. aduncum* e *P. marginatum* (Figura 8 B).

Quanto ao comprimento de porta-enxerto (CPE), a única diferença significativa observada foi entre métodos de enxertia para a cultivar 'Kottanadan'. Para esta cultivar a enxertia lateral foi superior à de topo. Entre os genótipos, por sua vez, não foram observadas diferenças para ambos os métodos de enxertia (Figura 8 C). No entanto, foi possível constatar diferenças, com interação entre métodos e genótipos quando se avaliou o acúmulo de massa seca nos porta-enxertos (MSPE). Para esse parâmetro, a enxertia lateral se mostrou superior à enxertia de topo nos os genótipos *P. aduncum*,

*P. marginatum* e 'Bragantina'. Já na enxertia de topo, 'Bragantina' foi o único genótipo que se diferenciou significativamente dos demais, apresentando maior valor (Figura 8 D).

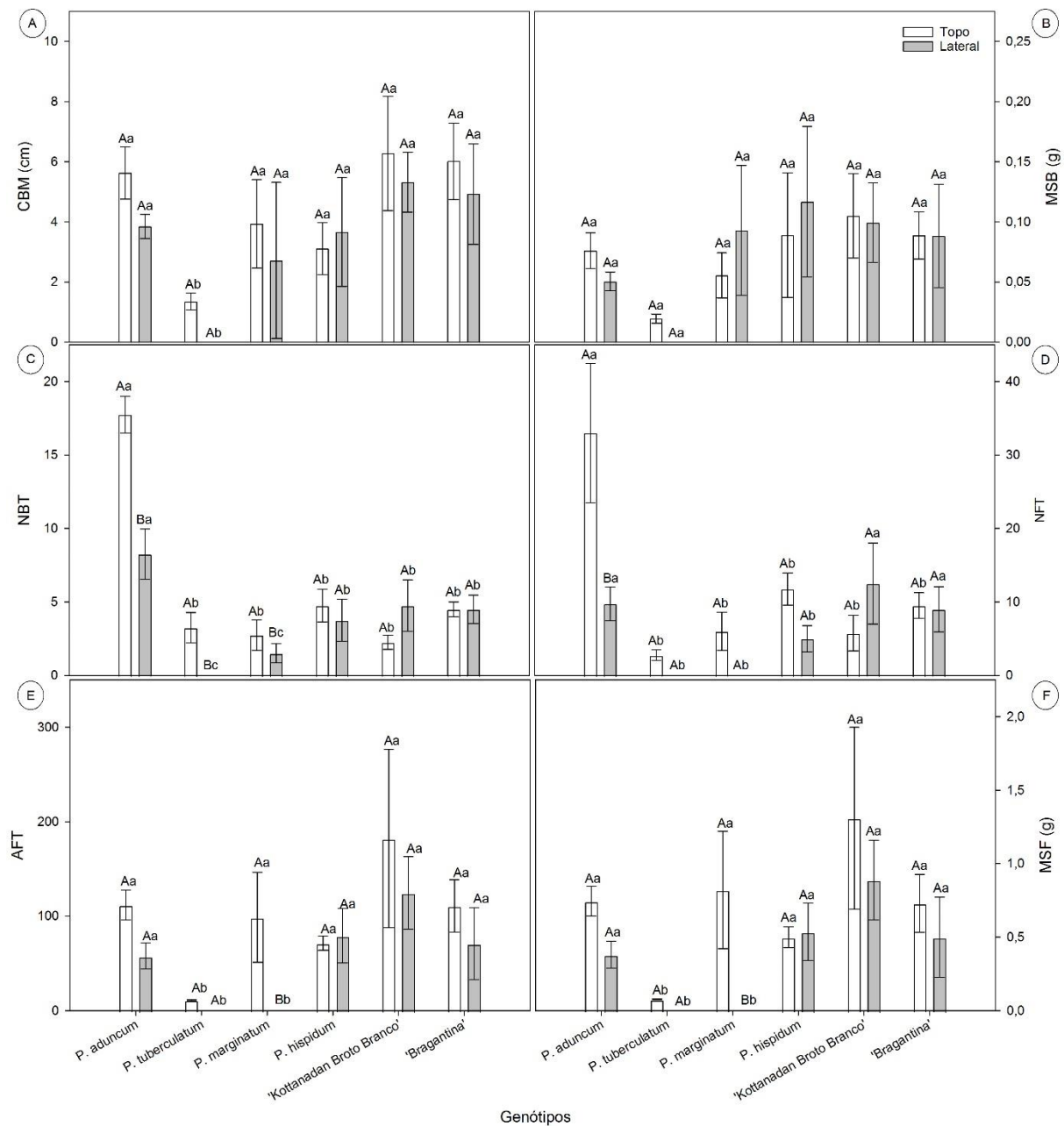


**Figura 8.** Volume de raiz (VR) (A), massa seca de raiz (MSR) (B), comprimento do porta-enxerto (C) e massa seca de porta enxerto (MSPE) (D) de diferentes porta-enxertos submetidos à enxertia de garfagem de topo em fenda cheia (Topo) e garfagem lateral em fenda cheia (Lateral). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre métodos e minúscula entre genótipos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de probabilidade. A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições.

O método de enxertia não influenciou no comprimento do maior broto (CBM) dos genótipos e o acúmulo de massa seca nos brotos (MSB). Já entre os genótipos, menor comprimento de brotos foi obtido quando se utilizou *P. tuberculatum* como porta-submetidos a ambos os métodos de enxertia. No entanto essa diferença entre genótipos não foi significativa para massa seca de brotos (Figura 9 A e B). Já os valores médios do total de brotos e folhas emitidas em cada parcela explicitaram, mais uma vez, a superioridade da enxertia de topo e do porta-enxerto *P. aduncum*, assim

como a ineficiência de desenvolvimento da pimenteira-do-reino enxertada sobre *P. tuberculatum* e *P. marginatum* (Figura 9 C e D).

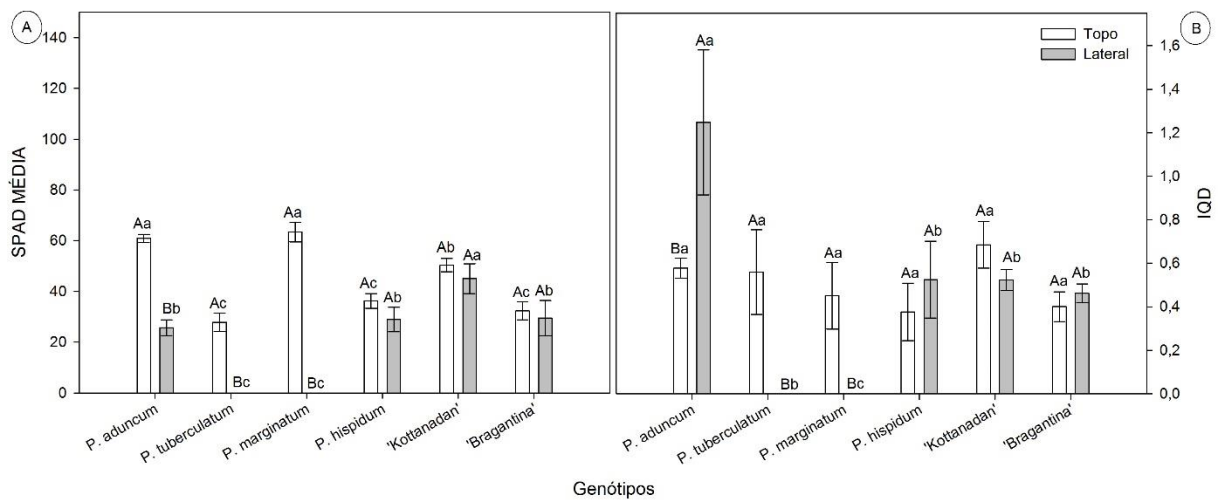
Os resultados da avaliação de desenvolvimento do enxerto através da aferição de área foliar (AF) e Massa seca de folhas (MSF) também demonstraram que a garfagem de topo foi superior à lateral. Contudo, analisando o comportamento de cada genótipo enxertado, verifica-se que essa superioridade foi significativa apenas quando se utilizou *P. marginatum* como porta-enxerto, considerando que a enxertia lateral não possibilitou o desenvolvimento foliar de *P. nigrum*. Através da enxertia de topo, apenas *P. tuberculatum* diferiu dos demais porta-enxertos, com valores inferiores, devido ao baixo desenvolvimento foliar. Na garfagem lateral, esse mesmo genótipo apresentou comportamento semelhante, a exemplo de *P. marginatum*, os quais não proporcionaram a formação de folhas durante o período experimental (Figura 9 D e E).



**Figura 9.** A- Comprimento de brotos (CB); B- massa seca de brotos (MSB); C- Número de brotos total (NBT); D- Número de folhas total (NFT); E- Área foliar total (AFT); F- massa seca de folhas (MSF) de diferentes porta-enxertos submetidos à enxertia de garfagem de topo em fenda cheia (Topo) e garfagem lateral em fenda cheia (Lateral). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre métodos e minúscula entre genótipos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de probabilidade. A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições.

Nas análises de qualidade, o SPAD foi superior para a enxertia de topo, com resultados superiores para *P. aduncum* e *P. marginatum*. Já as mudas enxertadas por meio da garfagem lateral apresentaram resultados diferentes, com maiores

valores de SPAD em mudas enxertadas sobre *P. hispidum*, 'Kottanadan' e 'Bragantina'. Essa variável não foi possível ser aferida nas mudas que tiveram como porta-enxerto *P. tuberculatum* e *P. marginatum* com o uso deste método, uma vez que não foi possível analisá-los devido à ausência de folhas completamente expandidas. Os resultados de índice de qualidade de Dickson (IQD) indicaram que a garfagem lateral em *P. aduncum* foi superior entre os demais tratamentos, considerando que resultados nulos foram atribuídos para mudas enxertadas em *P. tuberculatum* e *P. marginatum*, pela ausência de folhas. Para a garfagem de topo, não foram identificadas diferenças entre os genótipos (Figura 10).



**Figura 10.** SPAD média (A) e índice de qualidade de Dickson (IQD) (B) de diferentes porta-enxertos submetidos à enxertia de garfagem de topo em fenda cheia (Topo) e garfagem lateral em fenda cheia (Lateral). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre métodos e minúscula entre genótipos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de probabilidade. A barra corresponde ao erro padrão da média de quatro repetições.

## 5 DISCUSSÃO

Com base na literatura existente, Baron *et al.* (2019) concluem que não existe consenso sobre a definição dos termos "compatibilidade do enxerto" e "incompatibilidade do enxerto", o que reflete predominantemente a noção de que a chamada "compatibilidade inicial" implica a sobrevivência imediatamente após a enxertia na fase de berçário, e a compatibilidade tardia é a sobrevivência após o transplante para o campo. O processo de pegamento da enxertia ainda não está completamente elucidado pela ciência. Entretanto, sabe-se que após o enxerto, as respostas da planta são rapidamente ativadas conforme a planta detecta o ferimento e inicia o processo de regeneração, cicatrização e união do enxerto (MELNYK, 2017). Por outro lado, enxertos incompatíveis também mostram inicialmente uma dinâmica de inserção semelhante a enxertos compatíveis, mas após vários dias a inserção enfraquece, enquanto os enxertos compatíveis continuam a se fortalecer (MOORE; WALKER, 1983). Neste estudo, definiu-se como pegamento, a sobrevivência e o surgimento de brotos no enxerto aos 90 dias após a enxertia.

Fundamentando-se nessas definições, os resultados apresentados permitem afirmar a existência da compatibilidade inicial da enxertia de *P. nigrum* em *P. aduncum*. O método de enxertia e os genótipos utilizados influenciaram significativamente no pegamento, desenvolvimento e qualidade das mudas. A superioridade da garfagem de topo ficou evidente para o pegamento do enxerto, sobretudo para o genótipo *P. aduncum* que obteve quase o dobro de brotação (59,3%) em comparação com a garfagem lateral (30,6%).

Não foram encontrados na literatura estudos de enxertia de pimenteira-do-reino em *P. aduncum* por meio de garfagem de topo. Entretanto, este método foi o primeiro a ser utilizado em trabalhos de enxertia de pimenteira-do-reino em espécies nativas de Piper. No primeiro destes, Albuquerque (1968), pioneiro no Brasil em trabalhos de enxertia em pimenteira do-reino, comprovou a compatibilidade inicial da enxertia de *P. nigrum* em *P. colubrinum*, utilizando a garfagem de topo em fenda cheia, alcançando 98% de pegamento. Com base nesse estudo, diversos trabalhos posteriores foram desenvolvidos, utilizando a enxertia de topo com taxas de

pegamento acima de 60% (MATHEW; REMA, 2000; ALCONERO *et al.*, 1972; VANAJA *et al.*, 2007; JANANI, 2009; BASTOS; SANTOS, 2016; LAKSHMANA; HANUMANTHAPPA; SUNIL, 2016; CHINNAPAPPA *et al.*, 2018; NGUYEN *et al.*, 2020).

Embora sejam escassos e incipientes, estudos sobre técnicas alternativas de enxertia em pimenteira-do-reino têm sido desenvolvidos, como inglês simples, inglês modificado, língua, porta-enxerto duplo, stenting, obtendo-se taxas que variam de 44% a 89% de pegamento em pimenteira-do-reino (MATHEW; REMA, 2000; AARTHI; KUMAR, 2019; NGUYEN *et al.*, 2020).

Recentemente no Brasil, Crasque *et al.* (2021) utilizaram como método de propagação a garfagem lateral a fim de avaliar a relação entre o metabolismo primário o desenvolvimento de mudas enxertadas de pimenteira-do-reino. Nesse estudo, utilizando os porta enxertos 'Kottanadan', *P. aduncum* e *P. hispidum*, os autores obtiveram em média 60% com o uso deste método.

Estudos recentes de genética molecular em processos de enxerto indicaram que a deposição de fitormônios na região de enxerto e alguns dos genes associados à ação destes, induzem proliferação e diferenciação celular e são importantes para estabelecer uma união de enxerto (YIN *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2014; MELNYK *et al.*, 2015; MATSUOKA *et al.*, 2018).

Com base em estudos sobre controle hormonal na enxertia de *Arabidopsis*, Asahina *et al.* (2011) observaram que o corte dos tecidos vasculares altera a dinâmica de transportes de diversas substâncias através dos vaso, o que provavelmente causa o acúmulo de auxina e açúcares acima do local do corte, ao mesmo tempo em que esgota essas substâncias abaixo até que as conexões celulares e vasculares sejam restauradas, sugerindo que a resposta diferencial de auxina ao longo do corte é importante para o processo de união do enxerto.

Essas descobertas ajudam a explicar o melhor desenvolvimento mudas encontrados para a enxertia de topo em fenda cheia, uma vez que a completa decapitação da parte aérea interrompeu drasticamente o transporte de auxinas no sentido fonte-dreno, acumulando-se na região apical de corte, contribuindo para o estabelecimento da união entre enxerto e porta-enxerto. Por outro lado, como não houve a retirada da copa do porta-enxerto, esse diferencial de concentração pode não

ter ocorrido. Um outro fator observado que explica a baixa eficiência no uso deste método, neste experimento, é o efeito guarda-chuva formado pelas folhas dos porta-enxertos que impediram a perfeita irrigação das raízes. Soma-se a isso a maior demanda de água por essas plantas, resultando em estresse hídrico e abortamento do enxerto.

Estudos recentes lançaram luz sobre os mecanismos da biossíntese, transporte e percepção de fitormônios responsáveis pela brotação lateral das plantas. Em particular, a descoberta recente da função hormonal das estrigolactonas permitiram entender a interação entre auxinas, citocininas e estrigolactonas como os principais fatores indutores de resposta no desenvolvimento das gemas axilares (GOMEZ-ROLDAN *et al.*, 2008, UMEHARA *et al.*, 2008). Esses estudos indicam que as estrigolactonas são sintetizadas na raiz e são responsáveis por inibirem a síntese de citocininas, hormônio este responsável pela multiplicação das gemas laterais. As auxinas, sintetizadas nas folhas, sinalizam a produção de estrigolactonas na raiz, que por sua vez bloqueiam a produção de citocininas, inibindo assim o desenvolvimento das gemas laterais nas mudas (MASHIGUCHI; SETO; YAMAGUCHI, 2021). Isso explica a maior brotação lateral dos porta-enxertos proporcionada pela enxertia de topo, uma vez que a quebra da dominância apical por meio da decapitação da parte aérea no momento da enxertia, eliminou a síntese de auxinas e, conseqüentemente, a sinalização para a produção de estrigolactonas na raiz, deixando as citocininas livres para atuar na divisão celular, resultando na multiplicação das gemas axilares.

Apesar de não propiciar bons resultados de sobrevivência, pegamento e desenvolvimento de parte aérea, a enxertia lateral induziu melhor desenvolvimento do porta-enxerto caracterizado pelos maiores valores dos parâmetros de crescimento, volume e alocação de massa seca de raízes e caule. Com base nesses resultados e estudos científicos relatados por Taiz *et al.* (2017), pode-se inferir que o processo de enxertia em que a parte aérea do porta-enxerto foi mantida pelo período de 45 dias após a enxertia não interrompeu a dominância apical, permitindo a continuidade da fotossíntese pelas folhas e a translocação fonte-dreno de carboidratos, aminoácidos, hormônios, íons inorgânicos, e proteínas, para as demais partes da planta, resultando na continuidade do crescimento e desenvolvimento do porta-enxerto.

Os melhores resultados para parâmetros de crescimento e alocação de massa seca da parte aérea confirmam a superioridade da enxertia de topo em fenda cheia,

corroborando a hipótese de melhor soldadura da união enxerto/porta-enxerto. O maior número de brotos e folhas da garfagem de topo foi diretamente influenciado pela maior sobrevivência das mudas no final do experimento.

As análises de qualidade em que valores superiores de SPAD foram encontrados para a enxertia de topo sugerem que a maior intensidade de verde nas folhas pode ser reflexo da melhor união do enxerto ao porta-enxerto, possibilitando o transporte de água e nutrientes absorvidos pelas raízes para as folhas do enxerto.

Embora tenham sido encontrados diferenças significativas entre os tratamentos para o Índice de qualidade de Dickson (IQD), com melhores resultados para a enxertia lateral, altos valores de erro padrão demonstram que, nas condições deste experimento, o IQD não se mostrou adequado para avaliação da qualidade inicial de mudas enxertadas de pimenteira-do-reino.

Na comparação entre genótipos, a superioridade da enxertia de *P. nigrum* sobre *P. aduncum*, constatada neste experimento, indicam a compatibilidade inicial desta combinação interespecífica. Proporcionalmente a isso, valores de desenvolvimento da parte aérea e parâmetros de qualidade corroboram essa constatação. Já a maior brotação lateral dos porta-enxertos *P. aduncum*, *P. tuberculatum* e *P. hispidum* sugerem maior vigor desses porta-enxertos em comparação com as cultivares de *P. nigrum*. Sabe-se que esta característica não é interessante do ponto de vista financeiro para a produção de mudas de pimenteira-do-reino, pois implica aumento de custo de mão-de-obra para a produção de mudas e cultivo no campo. Em contrapartida, o maior desenvolvimento do sistema radicular apresentado pelas espécies selvagens é muito desejável pelos produtores de pimenta-do-reino para a formação de plantas resistentes à deficiências hídricas e nutricionais, pela maior capacidade de exploração do solo e absorção de água e nutrientes (FRANCISCO *et al.*, 2015).

Contudo, sabe-se que o desenvolvimento da parte aérea é um forte indicativo de compatibilidade ou não da enxertia. Nesse sentido, embora a sobrevivência de 53,7 % das mudas enxertadas em *P. tuberculatum*, a alta brotação na base deste porta-enxerto e o bom desenvolvimento radicular sejam indicativos de alto vigor, o reduzido desenvolvimento da parte aérea do enxerto aos 90 dias após a enxertia da pimenteira-

do reino revela a incompatibilidade inicial entre essas espécies. Resultados semelhantes foram apresentados por Crasque *et al.* (2021) em estudo de enxertia lateral, em que também se identificou a incompatibilidade entre essas mesmas espécies, associando esse comportamento ao alto vigor e à falta de produção de mucilagem pelo porta-enxerto no momento da enxertia.

Em *Piper marginatum*, foi observado o amarelecimento seguido de abortamento do entrenó imediatamente abaixo da inserção do enxerto, mesmo após emitir brotação, o que explica os baixos valores de sobrevivência e desenvolvimento da parte aérea, aparentando, dessa forma, a incompatibilidade inicial da enxertia. De acordo com Baron *et al.* (2019), mesmo que não haja interferência de fatores adicionais bióticos e abióticos como patógenos ou condições ambientais, um fator que se acredita desencadear a mortalidade do enxerto é a reação natural de incompatibilidade entre as espécies de porta-enxerto-copa, conhecida como “incompatibilidade entre parceiros”.

Um levantamento da diversidade estrutural e bioatividade feito por Kato e Furlan (2007) revela que as Piperáceas se especializam na produção de uma rica diversidade de compostos fenólicos. Recentemente uma investigação biológica e química *in vitro* foi realizada por Macedo *et al.* (2020) no intuito de avaliar o potencial de *Piper marginatum* contra *Leishmania amazonensis*, em que se constatou a presença de compostos fenólicos nesta espécie.

Diversas evidências científicas têm indicado a implicação desses compostos na diferenciação celular e na falta de lignificação em uniões incompatíveis a curto prazo (NOCITO *et al.*, 2010; ZARROUK *et al.*, 2010; PINA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2014). Outros compostos associados ao problema são os glicosídeos cianogênicos amigdalina e prunasina. O acúmulo de cianeto liberado pela hidrólise destes compostos na união do enxerto pode causar necrose das células cambiais e descontinuidade vascular (NOCITO *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2014).

Os baixos valores de sobrevivência das mudas enxertadas em porta-enxerto de *P. hispidum* não possibilitaram determinar a compatibilidade inicial desta combinação neste experimento. Entretanto, a maior quantidade de brotos do porta-enxerto, juntamente com valores intermediários de desenvolvimento de enxerto indicam alto

vigor desta espécie, porém não permite considera-lo como incompatível, sendo necessário a realização de mais estudos em condições diferentes para um resultado mais conclusivo.

Altas taxas de mortalidade para as mudas de *P. nigrum* enxertadas em 'Kotanadan broto branco' e da homoenxertia de 'Bragantina' apontam para a sensibilidade de *P. nigrum* às condições do experimento, em que a disponibilidade de água para irrigação era mais restritiva que a usualmente adotada para a produção comercial de mudas de pimenteira-do-reino em tubetes preenchidos com substrato comercial. Apesar disso, verifica-se que as mudas sobreviventes apresentaram bons índices de crescimento de parte aérea e qualidade inicial da muda.

Comparativamente a esses resultados, Crasque *et al.* (2021), em estudo recente, alcançaram sucesso na enxertia lateral de *P. nigrum* nas espécies *P. aduncum*, *P. hispidum* e na cultivar "Kottanadan", além da homoenxertia da cultivar 'Bragantina', alcançando sobrevivência média de 78% e brotação média de 60%. Nesta pesquisa, os autores também concluíram que *P. aduncum* é o melhor porta-enxerto por apresentar maior compatibilidade inicial entre as espécies silvestres, devido ao menor impedimento ao fluxo de carboidrato, corroborando com os resultados aqui apresentados para esta espécie.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Comprovou-se, por meio deste estudo a compatibilidade inicial da enxertia de *Piper nigrum* L., cultivar 'Bragantina' sobre a espécie nativa *Piper aduncum*, com a utilização do método de enxertia de topo em fenda cheia, alcançando melhores índices de pegamento e desenvolvimento radicular e de parte aérea da muda. As espécies *Piper tuberculatum* e *Piper marginatum* se mostraram incompatíveis para a enxertia com *P. nigrum*. O método de enxertia lateral não se mostrou eficiente nas condições estabelecidas para este experimento.

Melhores resultados de desenvolvimento radicular encontrados para *P. aduncum* em comparação aos porta-enxertos afirmam o potencial para a produção de mudas tolerantes a estresses hídricos e nutricionais.

Esse estudo contribuiu para o aumento do conhecimento visando o estabelecimento de um protocolo para a produção inicial de mudas de pimenteira-do-reino enxertadas em espécies nativas resistentes. Entretanto, mais estudos são necessários para a definição de um protocolo que visam aumentar o sucesso no pegamento da enxertia, avaliando tipo de propágulos de porta -enxerto, ambiente, tipo de substrato e técnica de enxertia e suas interações pra a produção e mudas enxertadas.

Futuros estudos de campo a médio e longo prazo também são necessários para avaliar a compatibilidade tardia da enxertia e parâmetros de desenvolvimento, vida útil e produtividade das plantas.

Comprovada compatibilidade tardia, serão necessários estudos de viabilidade econômica da produção de mudas em larga escala, haja visto o provável aumento de custo para a produção dessas mudas.

## 7 REFERÊNCIAS

EMPARI, K.; SIM, S. L. Stem anatomy of *Piper nigrum* and *Piper colubrinum* and the development of their graft union. In: **National Conference on Pepper in Malaysia. Kuching, Sarawak (Malaysia). 16-17 Dec 1985**. 1986. ISBN: 967-960-004-1.

Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=MY19870062804>. Acesso em: 29 ago. 2021.

FACHINELLO, J. C. *et al.* **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Disponível em: [Propagacao\\_de\\_Plantas\\_Frutiferas20200218-74063-11jefgr-with-cover-page-v2.pdf](#). Acesso em: 21 jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture of the United Nations. **Statistical Databases**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 30 de junho de 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FLORES, F. B. *et al.* The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. **Scientia horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 211-217, 2010. ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442381000138X>). Acesso em: 17 jul. 2021.

FRANCISCO, J. P. *et al.* Qualidade de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em casa de vegetação submetida a diferentes substratos e concentração de ácido indolbutírico. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 401-419, 2015. Disponível em: <http://177.129.73.3/index.php/rama/article/view/3437>. Acesso em: 19 set. 2021.

FULLANA-PERICÀS, M. *et al.* The influence of grafting on crops' photosynthetic performance. **Plant Science**, v. 295, p. 110250, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110250>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945219307599>. Acesso em 1 ago. 2021.

GAION, L. A. **Uso de um mutante em giberelina na enxertia de tomateiro para estudar o papel desse hormônio na sinalização entre a raiz e parte aérea durante o déficit hídrico**. 2017. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Orientador: Rogério Falleiros Carvalho. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152288>. Acesso em 1 ago. 2021.

GEORGE, S. **Stock scion interaction in *Piper nigrum* L. grafts**. Tese (Doutorado). Department of Plantation Crops and Spices, College of Horticulture, Vellanikkara, 2019. Disponível em: <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810149769>. Acesso em: 29 ago. 2021.

GOLDSCHMIDT, E. E. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 727, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00727/full>. Acesso em: 25 jun. 2021.

GOMES FILHO, J. **Manejo de fusariose em pimenta-do-reino cv. Bragantina**. Orientador: Orientador: Edna Peixoto da Rocha Amorim. 2017. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/3526/1/Manejo%20de%20fusariose%20em%20pimenta-do-reino%20cv.%20bragantina.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2021.

GOMEZ-ROLDAN, V. *et al.* Strigolactone inhibition of shoot branching. **Nature**, v. 455, n. 7210, p. 189-194, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07271>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature07271>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GUIMARÃES, E. F. *et al.* *Piperaceae* in: **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020 Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB190>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

HUANG, Y. *et al.* Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. **Scientia Horticulturae**, v. 149, p. 80-85, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01457>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01457/full>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. r/Produção Agrícola nacional e regional. Acesso em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>. Acesso em: de outubro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**. Estações automáticas. 2021. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br>. Acesso em: 21 out. 2021.

IWASE, A. *et al.* The AP2/ERF transcription factor WIND1 controls cell dedifferentiation in *Arabidopsis*. **Current Biology**, v. 21, n. 6, p. 508-514, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.02.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982211002119>. Acesso em: 1 ago. 2021.

JANANI, P. **Studies on grafting in black pepper (*Piper nigrum* L.) with reference to resistance to quick wilt and slow wilt diseases**. Tese (Doutorado). Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore. 150-154, 2009. Disponível em: <https://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810061262>. Acesso em: 1 out. 2021.

JARAMILLO, M. A.; CALLEJAS, R. Current perspectives on the classification and phylogenetics of the genus *Piper* L. In: ***Piper: a model genus for studies of phytochemistry, ecology, and evolution***. Springer, Boston, MA, 2004. p. 179-198. DOI: 10.1007/978-0-387-30599-8\_10. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-30599-8\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-30599-8_10). Acesso em: 24 abr. 2021.

KATO, M. J.; FURLAN, M. Chemistry and evolution of the Piperaceae. **Pure and Applied Chemistry**, v. 79, n. 4, p. 529-538, 2007. doi:10.1351/pac200779040529. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200779040529/html>. Acesso em: 11 fev. 2021.

KUMAR, P. *et al.* Vegetable grafting: a boon to vegetable growers to combat biotic and abiotic stresses. **Himachal Journal of Agricultural Research**, v. 41, n. 1, p. 1-5, 2015. Disponível em: <http://hjar.org/index.php/hjar/article/view/110396>. Acesso em: 1 ago. 2021.

LAKSHMANA, M; HANUMANTHAPPA, M; SUNIL, C. "Effect of propagation method on successful growth performance of pepper plants". In: MALHOTHRA, S K, KANDIANNAN, K., RAJ, K. M., NEEMA, V. P., PRASATH, SRINIVASAN, D, FEMINA, H. C. V. Advances in planting material production technology in spices, **Directorate of Arecanut and Spices Development**, Kohzikode, Kerala, India, 2016. v. 18, n. 4, p. 124-129.

LEE, S.G. Production of high quality vegetable seedling grafts. In: **XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: Global Horticulture: Diversity and Harmony, an Introduction to IHC2006 759**, p. 169-174, 2010. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.759.12>. Disponível em: [https://www.actahort.org/books/759/759\\_12.htm](https://www.actahort.org/books/759/759_12.htm). Acesso em: 21 ago. 2021.

LEMOS, E. E. P. de. *et al.* Produção de porta-enxertos em tubetes e enxertia precoce da pinheira (*Annona squamosa* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 865-873, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000095>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/WgqnjJdwwwYXGCLjDJZFhRd/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2021.

LEMOS, O. F. *et al.* **Conservação e melhoramento genético da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) associado às técnicas de biotecnologia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 45 p. ISSN 1983-0513. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921237/1/DOC375.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2021.

LIMA, G. S. de. *et al.* Tolerance of precocious dwarf cashew clones to salt stress during rootstock formation stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 474-481, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n7p474-481>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6nfWsWB5w6qnrRffTFYvdkG/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 10 ago. 2021.

LIMA, J. S. S. *et al.* Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). **IDESIA**, Arica, v.28, nº 2, p. 31-39, Agosto, 2010. Disponível em:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292010000200004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292010000200004&lng=es&nrm=iso). Acesso em: 24 abr. 2021.

MANICKAM, R. *et al.* Evaluation of different bacterial wilt resistant eggplant rootstocks for grafting tomato. **Plants**, v. 10, n. 1, p. 75, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.3390/plants10010075>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/1/75/htm>. Acesso em: 10 ago. 2021.

MASHIGUCHI, K.; SETO, Y.; YAMAGUCHI, S. Strigolactone biosynthesis, transport and perception. **The Plant Journal**, v. 105, n. 2, p. 335-350, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1111/tpj.15059>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tpj.15059>. Acesso em: 21 nov. 2021.

MATHEW, P. A.; REMA, J. Grafting black pepper to control foot rot. **Spice**, India, 7: 7-10, 2021.

MATHEW, P.J.; MATHEW, P.M.; KUMAR, V. Graph clustering of *Piper nigrum* L. (Black pepper). **Euphytica**, v. 118, p. 257–264, 2001. DOI:

<https://doi.org/10.1023/A:1017554501828>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1017554501828>. Acesso em: 02 mai. 2021.

MATSUOKA, K. *et al.* RAP2. 6L and jasmonic acid–responsive genes are expressed upon Arabidopsis hypocotyl grafting but are not needed for cell proliferation related to healing. **Plant molecular biology**, v. 96, n. 6, p. 531-542, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11103-018-0702-4>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-018-0702-4>. Acesso em: 18 nov. 2021.

MELNYK, C. W. *et al.* A developmental framework for graft formation and vascular reconnection in Arabidopsis thaliana. **Current Biology**, v. 25, n. 10, p. 1306-1318, 2015. ISSN 0960-9822. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.032>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982215003474>. Acesso em: 21. Jun. 2021.

MELNYK, C. W. Plant grafting: insights into tissue regeneration. **Regeneration**, v. 4, n. 1, p. 3-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/reg2.71>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/reg2.71>. Acesso em: 29 jul. 20.

MELNYK, C. W. Plant grafting: insights into tissue regeneration. **Regeneration**, Cambridge, v. 4, p. 3-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/reg2.71>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/reg2.71>. Acesso em: 28 out. 2021.

MOORE, R.; WALKER, D. B. Studies of vegetative compatibility-incompatibility in higher plants. **Protoplasma**, v. 115, n. 2, p. 114-121, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01279803>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01279803>. Acesso em: 28 out. 2021

MUNEER, S. *et al.* Physiological and proteomic investigations to study the response of tomato graft unions under temperature stress. **PLoS One**, v. 11, n. 6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157439>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0157439>. Acesso em: 17 jul. 2021.

NEDSPICE. **Pepper Crop Report 2021**. China Spice Conference. Xi'an, China, 2020. Disponível em: <https://www.nedspice.com/app/uploads/2020/11/201103-Nedspice-Pepper-Crop-Report-2021-Final.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2021.

NGUYEN, T. Q. *et al.* Determination Grafting Techniques and Compatible Grafts between Piper Species-a Case Study in Vietnam. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 3, p. 1817-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3y.9471>. Disponível em: <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2020&vol=8&issue=3&ArticleId=9471&si=false>. Acesso em: 17 nov. 2021.

NOCITO, F. F. *et al.* Oxidative stress and senescence-like status of pear calli co-cultured on suspensions of incompatible quince microcalli. **Tree Physiology**, v. 30, n. 4, p. 450-458, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq006>. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article/30/4/450/1682410?login=true>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PARMAR, V. S. *et al.* Phytochemistry of the genus Piper. **Phytochemistry**, v. 46, n. 4, p. 597-673, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00328-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00328-2). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031942297003282>. Acesso em: 24 abr. 2021.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. **Tópicos em ciências agrárias**, p. 38, 2009. Disponível em: <http://frutvasf.univasf.edu.br/images/topicos.pdf#page=39>. Acesso em: 21 Set. 2021.

PEREIRA, I. dos S. *et al.* Graft incompatibility in Prunus. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1519-1526, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131074>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/LSL9m5LJC7NjnT6CnCX33yx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 21 nov. 2021.

PINA, A. *et al.* Physiological and molecular mechanisms underlying graft compatibility. **Vegetable grafting: principles and practices**, p. 132-154, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781780648972.0132>. Disponível em: <http://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/6707>. Acesso em 18 ago. 2021.

POLTRONIERI, M. C.; DE LEMOS, O. F. Pimenta-do-reino: cultivares. **Embrapa Amazônia Oriental**. 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/994798/1/FolderCultivaresPimenta.pdf>. Acesso em 3 jun. 2021.

POLTRONIERI, M. C.; LEMOS, O. F.; AIBUQUERQUE, F. C.; **Programa de melhoramento genético e de adaptação de espécies vegetais para a Amazônia oriental**. Belém, 1999. 1 37p. ISSN 1517-2201. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/395208/1/Doc16p127137.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

PURSEGLOVE, J.W.; BROWN, E.G.; GREEN, C. L.; ROBBINS, S.R.J. **Spices**, London, Longman, 1981. v.1. 439p. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/welcome/?target=%2fcabdirect%2fabstract%2f19821381925>. Acesso em: 01 mai. 2021.

RAMOS, J. V. **Desenvolvimento do sistema radicular da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) em plantas com diferentes idades**. 1982. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 1982. DOI:10.11606/D.11.1982.tde-20210919-105342. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-20210919-105342/en.php>. Acesso em: 11 nov. 2021.

RAVI, R. K.; MUTHUKUMAR, T. Perspectives on the Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the In Vivo Vegetative Plant Propagation. In: **Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment**. Cham: Springer, 2019. p. 83-107. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_5). Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-18933-4>. Acesso em: 18 jun. 2021.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas: mensuração do crescimento**. Belém, CPATU, 1978. 35p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufra.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/481>. Acesso em: 29 set. 2021.

SALAZAR, A. H. **Tolerância ao estresse abiótico (salinidade e seca) e influência de portaenxertos na qualidade de frutos em *Passiflora spp.*** 2016. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Orientador: Cláudio Horst Bruckner. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

SANTOS, J. S. dos. *et al.* Accumulation of nutrients and agronomic performance of grafted seedless watermelon. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, p. 311-320, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4639610>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/vtKFMfPFRZFCn3r5PDZYhnK/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SAVVAS, D. *et al.* Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 156-161, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030442381000419X>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SCHWARZ, D. *et al.* Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 162-171, 2010. DOI: [10.1016/j.scienta.2010.09.016](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423810004243?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SECUNDINO, W. *et al.* Rhizogenic behavior of black pepper cultivars to indole-3-butyric acid. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, p. 355-364, 2014. ISSN 1807-8621. DOI: [10.4025/actasciagron.v36i3.18112](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.18112). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/WhGKwxTwsbZjKqmbB7L74Lk/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.

SERRANO, L. A. L. *et al.* Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Revista Ceres**, v. 59, p. 512-517, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000400012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/cDFptBZTsY4c9d8TRggJgTz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 out. 2021.

SHANGO, A. J.; MAJUBWA, R. O.; MAERERE, A. P. Morphological characterization and yield of pepper (*Piper nigrum* L.) types grown in Morogoro District, Tanzania. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00028-9>. Disponível em: <https://cabiagbio.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43170-021-00028-9>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SODRÉ, G. A. (ed.). **Cultivo do cacauieiro no estado da Bahia**. Bahia: MAPA/Ceplac/Cepec, 2017. 126 p. ISBN: 978-85-99169-07-0. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/outras-publicacoes/cultivo-do-cacauieiro-no-estado-da-bahia.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.

SUGIMOTO, K.; JIAO, Y.; MEYEROWITZ, E. M. *Arabidopsis* regeneration from multiple tissues occurs via a root development pathway. **Developmental cell**, v. 18, n. 3, p. 463-471, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2010.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1534580710000924>. Acesso em: 1 ago. 2021.

SURIANY, E. *et al.* Response of Pepper Seeds Affected by Root Rot Disease (*Phytophthora capsici*) Towards Application of Secondary Metabolites of *Trichoderma* sp. **Haya Saudi J Life Sci**, v. 6, n. 6, p. 113-129, 2021. DOI: [10.36348/sjls.2021.v06i06.001](https://doi.org/10.36348/sjls.2021.v06i06.001). Disponível em: [https://saudijournals.com/media/articles/SJLS\\_66\\_113-129.pdf](https://saudijournals.com/media/articles/SJLS_66_113-129.pdf). Acesso em: 1 jul. 2021.

TIBERTI, A. S. *et al.* Propagação do 'Boysenberry' por estaquia e mergulhia. **Ciência Rural**, v. 42, p. 423-428, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000300007>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/Sm8PPSkL6gNjFPmpHJJnqch/?lang=pt#>. Acesso em: 12 nov. 2021.

TREMACOLDI, C. R. **Principais doenças fúngicas da pimenteira-do-reino no Estado do Pará e recomendações de controle**. – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 23p. ISSN 1983-0513. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883996/1/Doc367.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2021.

UMEHARA, M. *et al.* Inibição da ramificação do caule por novos hormônios vegetais terpenóides. **Nature**, v. 455, n. 7210, pág. 195-200, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07272>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature07272>. Acesso em: 22 nov. 2021.

VANAJA, T. *et al.* Graft recovery of *Piper nigrum* L. runner shoots on *Piper colubrinum* Link. rootstocks as influenced by varieties and month of grafting. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 45, 2007. ISSN 0973-5399. Disponível em: <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/176/176>. Acesso em: 1 out. 2021.

WAARD, P. W. F.; ZEVEN, A. C. *Piper nigrum* L. **Outlines of perennial crop breeding in the tropics**, 1969. 506 p. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/455436#page=407>. Acesso em: 18 mai. 2021.

WANG, J. *et al.* Auxin redistribution and shifts in PIN gene expression during Arabidopsis grafting. **Russian journal of plant physiology**, v. 61, n. 5, p. 688-696, 2014. <https://doi.org/10.1134/S102144371405015X>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S102144371405015X>. Acesso em: 28 out. 2021.

WANKE, S. *et al.* Evolution of Piperales—matK gene and trnK intron sequence data reveal lineage specific resolution contrast. **Molecular Phylogenetics and evolution**, v. 42, n. 2, pág. 477–497, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.07.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1055790306002788>. Acesso em: 01 fev. 2021.

YIN, H. *et al.* Graft-union development: a delicate process that involves cell–cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 11, p. 4219-4232, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ers109>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/63/11/4219/603267?login=true>. Acesso em: 28 out. 2021.

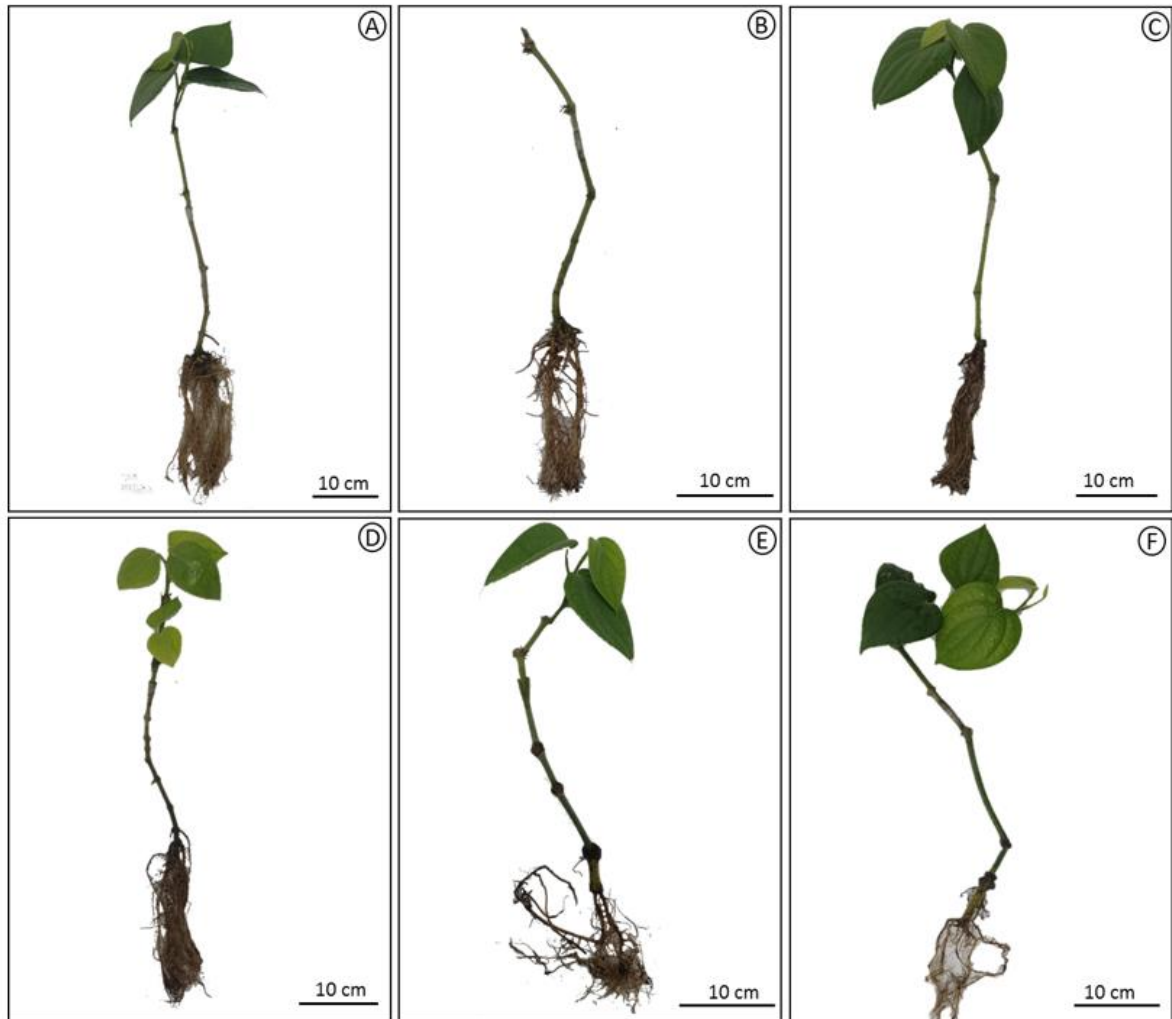
ZARROUK, O. *et al.* Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, n. 1, p. 9-17, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.1.9>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/135/1/article-p9.xml>. Acesso em: 18 nov. 2021.

## APÊNDICE A- Local de instalação do viveiro - Viveiro Clonar ®



Fonte: Autoria própria

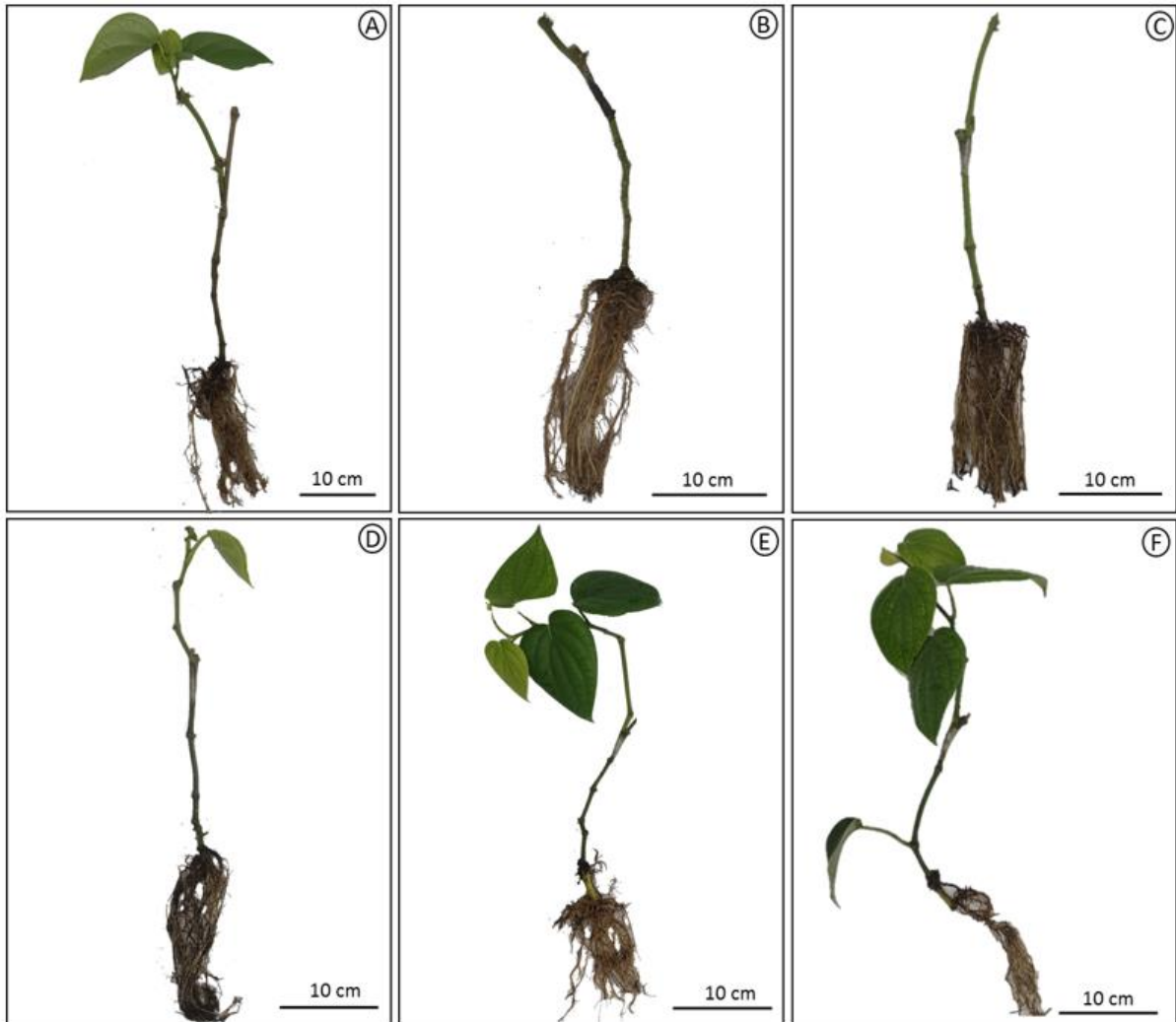
**APÊNDICE B – Mudas de pimenteira-do-reino enxertadas pelo método de garfagem de topo em fenda cheia sobre diferentes genótipos de Piper.**



Mudas de *P. nigrum* enxertada sobre: A- *P. aduncum*; B- *P. tuberculatum*; C- *P. marginatum*; D- *P. hispidum*; E- 'Kottanadan'; F- 'Bragantina'.

Fonte: Autoria própria

**APÊNDICE C – Mudas de pimenteira-do-reino enxertadas pelo método de garfagem lateral em fenda cheia sobre diferentes genótipos de Piper.**



Mudas de *P. nigrum* enxertada sobre: A- *P. aduncum*; B- *P. tuberculatum*; C- *P. marginatum*; D- *P. hispidum*; E- 'Kottanadan'; F- 'Bragantina'.

Fonte: Autoria própria