

GLEIDSON GUILHERME CALDAS MENDES

**ANÁLISES GENÉTICAS, ENXERTIA E FORMAÇÃO DE POMAR DE
CRUZAMENTOS EM VASOS COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO
BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M538a
2019
Mendes, Gleidson Guilherme Caldas, 1992-
Análises genéticas, enxertia e formação de pomar de
cruzamentos em vasos com espécies arbóreas nativas do Brasil /
Gleidson Guilherme Caldas Mendes. – Viçosa, MG, 2019.
x, 102 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Gleison Augusto dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Florestas - Melhoramento genético. 2. Plantio de
florestas. 3. Biodiversidade florestal - Conservação. 4. Enxertia.
5. Estufas para cultivo. 6. Banco de genes de plantas.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.91653

GLEIDSON GUILHERME CALDAS MENDES

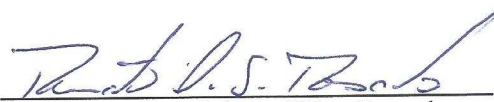
**ANÁLISES GENÉTICAS, ENXERTIA E FORMAÇÃO DE POMAR DE
CRUZAMENTOS EM VASOS COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO
BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

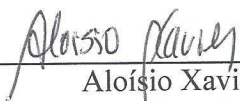
APROVADA: 22 de fevereiro de 2019.



Sebastião Venâncio Martins



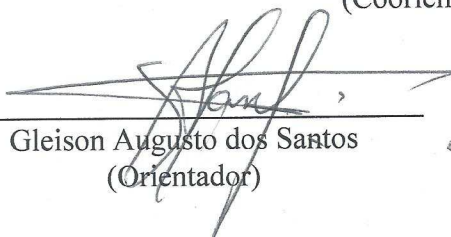
Renato Domiciano Silva Rosado



Aloísio Xavier
(Coorientador)



Marcos Deon Vilela de Resende
(Coorientador)



Gleison Augusto dos Santos
(Orientador)

“Ser menino não basta ser menino. Ser cravo ou ser rosa não basta ser o jardineiro. Basta sim o saber do jardineiro e ele dizer: sim, as minhas mãos são o sentido de tudo diante e perante a minha sabedoria.”
(Chiquinho da Floresta, 2019)

Aos meus pais, João e Jandira, que me ensinaram que as conquistas são frutos da humildade, honestidade, força de vontade e muito trabalho.

E a todos os que acreditam que a ciência é a engrenagem que faz o mundo girar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e força nos momentos difíceis.

Aos meus pais pela educação, exemplo de vida, ética moral e orações.

A minha saudosa avó, Floresbela Mendes, a qual não tive oportunidade de me despedir, mas sei que continua torcendo por mim.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) que foi minha casa por dois anos, e me fez estudar, saber, agir e vencer.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UFV pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, o qual me proporcionou essa grande realização.

Ao Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da UFV pela estrutura disponibilizada e pelo apoio de funcionários.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa.

A Sociedade de Investigações Florestais pelo apoio logístico e financeiro na execução da pesquisa.

Ao meu orientador Glêison Augusto dos Santos pelos ensinamentos que foram além da academia, e que fizeram crescer profissionalmente, serei eternamente grato.

Aos meus conselheiros, Marcos Deon Vilela de Resende e Aloísio Xavier os quais sempre tive grande respeito e admiração.

A minha irmã por nunca me negar ajuda e pela preocupação.

A minha namorada e amor Rayanne Alencar, por todo companheirismo, carinho, respeito e por se fazer presente mesmo estando longe. Eu te admiro muito.

Aos companheiros de trabalho do Grupo de Genética e Melhoramento Florestal (GenMFlor), pela troca de experiências, companheirismo e amizade.

As minhas orientadoras de Iniciação Científica Maria do Socorro Padilha de Oliveira e Mônica Trindade Abreu de Gusmão por me ajudarem nos primeiros passos dentro da ciência.

A todos os amigos de vida.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

GLEIDSON GUILHERME CALDAS MENDES, filho de João Soares Mendes e Jandira Caldas Mendes, nasceu em 04 de outubro de 1992, em Belém, Pará.

Concluiu o 1º grau em 2008, na Escola Estadual Professor Santana Marques em Belém, Pará, e o 2º grau em dezembro de 2011, na Escola Estadual Raymundo Martins de Viana em Belém, Pará.

Em março de 2012, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, campus de Belém, Pará, concluindo o curso em fevereiro de 2017.

Em março de 2017, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa – UFV, campus Viçosa, Minas Gerais, concluindo os requisitos necessários à obtenção de título de Magister Scientiae em fevereiro de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
PREÂMBULO.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	2
REVISÃO DE LITERATURA	5
1. Importância das espécies florestais nativas	5
2. Conservação genética de espécies arbóreas da Mata Atlântica.....	5
3. Melhoramento de espécies perenes	8
4. Análises genéticas via Selegen REML/BLUP	9
5. Enxertia em espécies florestais.....	10
6. Indução de florescimento	11
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 1.....	19
ANÁLISES GENÉTICAS E OTIMIZAÇÃO DE SELEÇÃO EM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL PARA FORMAÇÃO DE POMAR DE RECOMBINAÇÃO	19
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1. Introdução.....	21
2. Material e métodos	22
2.1. Condições ambientais e material genético	22
2.2. Avaliações silviculturais.....	23
2.3. Modelo estatístico.....	23
2.4. Seleção de potenciais genitores	24
2.5. Seleção de progênes	24
2.6. Otimização de seleção	24
3. Resultados	26

3.1.	Parâmetros genéticos	26
3.2.	Seleção de potenciais genitores	28
3.3.	Seleção de progênies	28
3.4.	Otimização de seleção via tamanho efetivo populacional.....	28
4.	Discussão.....	29
4.1.	Sobrevivência, caracteres silviculturais e parâmetros genéticos.....	29
4.2.	Seleção de potenciais genitores e de progênies	31
4.3.	Otimização de seleção via tamanho efetivo populacional.....	32
5.	Conclusões	34
6.	Referências	34
	CAPÍTULO 2.....	40
	PROPAGAÇÃO VEGETATIVA VIA ENXERTIA DE	40
	ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL.....	40
	RESUMO	40
	ABSTRACT	41
1.	Introdução.....	42
2.	Material e métodos	43
2.1.	Condições ambientais.....	43
2.2.	Material vegetal	43
2.3.	Coleta e análise dos dados.....	46
3.	Resultados	46
4.	Discussão.....	50
5.	Conclusões	52
6.	Referências	52
	CAPÍTULO 3.....	57
	EFEITO DA APLICAÇÃO DO PACLOBUTRAZOL E DO CULTIVO EM AMBIENTE INDOOR E OUTDOOR DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL.....	57
	RESUMO	57

ABSTRACT	58
1. Introdução.....	59
2. Material e métodos	60
2.1. Condições ambientais.....	60
2.2. Material vegetal.....	61
2.3. Análise dos dados	61
3. Resultados	62
4. Discussão.....	67
5. Conclusões	70
6. Referências	71
CONCLUSÕES GERAIS.....	77
APÊNDICES.....	79
APÊNDICES – Capítulo 1	80
APÊNDICES – Capítulo 3	99

RESUMO

MENDES, Gleidson Guilherme Caldas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Análises genéticas, enxertia e formação de pomar de cruzamentos em vasos com espécies arbóreas nativas do Brasil**. Orientador: Gleison Augusto dos Santos. Coorientadores: Marcos Deon Vilela de Resende e Aloisio Xavier.

A diversidade genética é fundamental para a sobrevivência das espécies em ambientes naturais em longo prazo, além de ser a base para o melhoramento genético. Assim, estratégias de conservação genética e melhoramento devem ser elaborados com intuito de salvaguardar as espécies arbóreas nativas. Os objetivos dos trabalhos foram: (1) estimar os parâmetros genéticos de seis espécies arbóreas nativas do Brasil em um teste de progênies, (2) propagar vegetativamente matrizes para formação de pomar de cruzamentos em vasos e (3) avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de mudas enxertas e tratadas com regulador de crescimento cultivadas indoor e outdoor. O teste de progênies foi avaliado aos 42 meses para os caracteres de crescimento e sobrevivência. Além disso, propagaram-se vegetativamente espécies florestais nativas para a avaliação da porcentagem de sobrevivência e desenvolvimento reprodutivo após a utilização das técnicas de enxertia e aplicação de regulador de crescimento (paclobutrazol) e cultivo em ambiente indoor e outdoor. Moderado controle genético foi observado entre as progênies do teste, especialmente em nível de média de progênies, sugerindo a possibilidade de ganhos genéticos com a seleção. Além disso, a otimização de seleção manteve níveis adequados de diversidade genética sugerindo a possibilidade da transformação do teste em um banco de conservação genética (em curto prazo). A propagação vegetativa se mostrou apropriada para o resgate de genótipos de espécies nativas, havendo a necessidade de ajustes para algumas delas. A utilização das técnicas de enxertia e aplicação do regulador de crescimento foi eficiente na antecipação da fase reprodutiva em duas espécies, havendo poucas diferenças na produção quando cultivadas em ambiente indoor ou outdoor. Assim, o programa de melhoramento e conservação genética de espécies florestais nativas, iniciado na Universidade Federal de Viçosa mostra-se promissor para a conservação de alelos dessas espécies, os quais poderão ser realizados em campo e em ambiente pomar de cruzamento em vasos (indoor e outdoor).

ABSTRACT

MENDES, Gleidson Guilherme Caldas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Genetic analysis, grafting and orchard formation of crosses in pots with tree species native to Brazil.** Advisor: Gleidson Augusto dos Santos. Co-advisors: Marcos Deon Vilela de Resende and Aloisio Xavier.

Genetic diversity is fundamental for the survival of species in natural environments in the long term, as well as being the basis for genetic breeding. Thus, genetic conservation and breeding strategies should be developed with the aim of safeguarding native forest species. The objective of this work was to estimate the genetic parameters of six native forest species in a progeny test, to propagate vegetatively matrices for the formation of orchards of crosses in pots and to evaluate the vegetative and reproductive development of seedlings grafted and treated with growth regulator grown indoor and outdoor. The test was evaluated at 42 months for growth and survival characters. In addition, native forest species were vegetatively propagated for the evaluation of the percentage of survival and reproductive development after the use of grafting techniques and application of growth regulator (paclobutrazol) and cultivation in indoor and outdoor environments. Moderate genetic control was observed among the progenies of the test, especially at the level of progeny mean, suggesting the possibility of genetic gains with selection. In addition, selection optimization maintained adequate levels of genetic diversity suggesting the possibility of transforming the test into a genetic conservation bank (in the short term). The vegetative propagation was appropriate for the rescue of species genotypes, and some adjustments were necessary. The use of grafting techniques and growth regulator application was efficient in anticipating the reproductive stage in two species, with few differences in yield when grown in indoor or outdoor environment. Thus, the genetic breeding and conservation program of native forest species, initiated at the Universidade Federal de Viçosa, shows promise for the conservation of alleles of these species, which can be carried out in the field and in an orchard environment of crossing in pots (indoor and outdoor).

PREÂMBULO

O presente trabalho de mestrado está organizado em 05 seções, com os seguintes tópicos:

1) Introdução geral: contextualização da importância do trabalho para o avanço em pesquisas de conservação e melhoramento genético de espécies florestais nativas;

2) Revisão Bibliográfica: Abordagem dos principais avanços em pesquisas de conservação e melhoramento genético de espécies florestais nativas no Brasil;

3) Capítulos:

- Análises genéticas e otimização de seleção em espécies florestais nativas para formação de pomar de recombinação;

- Propagação vegetativa via enxertia de espécies florestais nativas;

- Formação de pomar de cruzamentos em vasos indoor e outdoor de espécies florestais nativas;

* Ressalta-se que as espécies presentes no capítulo 1, são diferentes das espécies presentes nos capítulos 2 e 3, devido a falta de porta-enxertos para todas as espécies analisadas no capítulo 1. Já as espécies dos capítulos 2 e 3 são comuns entre os capítulos.

4) Considerações Finais: análise final das diferentes seções, ressaltando os principais pontos relevantes do trabalho, de acordo com os objetivos propostos;

5) Material suplementar para suportar informações mais detalhadas sobre os capítulos 1, 2 e 3.

SEÇÃO 1
INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

A exploração das florestas brasileiras tem ocasionado perdas em biodiversidade vegetal (Santos et al. 2018). Embora existam leis de proteção ambiental que regulamentam os planos de manejo florestal com base em critérios que buscam minimizar os impactos ambientais (Figueiredo et al. 2017), as florestas, que abrigam grande diversidade de espécies, são perdidas sem que a maior parte dessas espécies tenham sido estudadas. Assim, diariamente são perdidas possibilidades econômicas e sociais que a biodiversidade poderia trazer (Sant'Ana et al. 2013).

A exploração florestal, quando aplicada de forma intensiva e sem planejamento, pode causar inúmeros impactos ambientais, entre eles, o aumento da fragmentação das paisagens, o qual altera os padrões de fluxo gênico e, conseqüentemente, diminuem o tamanho efetivo (N_e) das populações, o que tem consequência direta no aumento da deriva genética e cruzamento entre indivíduos aparentados, deixando-as cada vez mais vulneráveis a eventos ambientais, demográficos e genéticos, devido a perda de seu potencial evolutivo (Ghazoul 2005; El-Kassaby et al. 2019). Assim, estratégias de conservação genética e melhoramento devem ser elaboradas, visando a combinação de indivíduos contrastantes e aumento da variabilidade genética dessas espécies.

Para delinear estratégias efetivas de conservação e fundar alicerces para subsidiar programas de melhoramento genético, é fundamental obter informações quanto à base genética dos indivíduos de uma espécie (Pupin et al. 2017). Essas informações podem ser obtidas em bancos de germoplasma (testes de procedência e progênie), os quais possuem representativa variabilidade genética de determinada espécie. Além disso, a recombinação de material genético superior, visando à produção de híbridos de melhor qualidade genética também tem sido de grande importância para a ampliação da base genética (El-Kassaby et al. 2019).

Para fins de melhoramento genético, conservação e reflorestamento, também é importante conhecer níveis de endogamia, coeficiente de coancestria e tamanho efetivo dentro de progênies de polinização aberta, pois esses parâmetros genéticos permitem estimar o tamanho de amostra necessário para reter um tamanho populacional efetivo específico (Feres et al. 2012).

Nesse sentido, buscar materiais que sejam mais produtivos e de fácil adaptação às condições de um determinado ambiente são papel do conservacionista e melhorista

florestal, e são de fundamental importância para a perpetuação das espécies florestais. Além disso, nos próximos anos, deve haver um incremento na demanda por sementes florestais com qualidade genética, devido às obrigações com a restauração ecológica e cumprimento da legislação ambiental. Para suprir essa demanda a baixo custo, os pesquisadores defendem a implantação de pomares de sementes por mudas (PSM), que poderão ser estabelecidos a partir de testes de progênies (Higa; Silva 2006), permitindo a avaliação de parâmetros genéticos, como variação genética, herdabilidades e acurácia, além de pomares clonais, como os pomares de cruzamentos em vasos.

Assim, o presente trabalho objetivou estimar os parâmetros genéticos para caracteres de crescimento e sobrevivência em um teste de progênies com espécies florestais nativas, propagar vegetativamente matrizes para formação de pomar de cruzamentos em vasos e avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de mudas enxertadas e tratadas com estimulante de florescimento cultivadas indoor e outdoor.

SEÇÃO 2
REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

1. Importância das espécies florestais nativas

As florestas nativas exercem função ambiental e social de grande relevância, pois abrigam ampla diversidade, propiciando a conservação de espécies, manutenção do fluxo gênico e dos processos evolutivos. Além disso, protegem o solo, regulam o clima, fornecem alimento e recursos florestais ao homem, entre outros benefícios. No entanto, ao mesmo tempo em que se identifica a relevante importância das florestas nativas, também se observa um progressivo processo de degradação desses ecossistemas, o que tem sido foco de preocupação internacional (Kim et al. 2015).

A falta de planejamento no uso dos recursos naturais (Santos et al. 2012) tem como consequência seu esgotamento deixando-os indisponíveis para as futuras gerações (Valentini et al. 2010). As práticas de agricultura, exploração madeireira, construção de estradas, linhas de energia e hidrelétrica estão entre as principais atividades humanas modificadoras que afetam a paisagem natural (Laurance et al. 2009), e que, embora necessárias, devem ser planejadas visando a sustentabilidade ambiental.

Nesse sentido, há uma crescente demanda pela preservação ambiental, fazendo com que nos últimos anos muito tenha se investido em reflorestamento com espécies florestais nativas (Nascimento et al. 2012). Além disso, os planos de manejo florestal são licenciados pelas agências ambientais brasileiras com base em critérios que buscam minimizar os impactos da extração madeireira na diversidade de espécies florestais (Figueiredo et al. 2017). Porém, para que haja sucesso nesses programas de reflorestamento, pesquisas voltadas para a geração de informações básicas como dinâmica desses ecossistemas, manejo e silvicultura, em especial na produção de sementes com algum grau de melhoramento, são necessárias, permitindo o estabelecimento de práticas que visem a sua conservação, recuperação e uso sustentável.

2. Conservação genética de espécies arbóreas da Mata Atlântica

A riqueza de espécies e os altos níveis de endemismo colocaram a Mata Atlântica brasileira entre os principais hotspots de biodiversidade do mundo (Myers et al. 2000), superando a floresta Amazônica (Joly et al. 2014). No entanto, a exploração

desordenada dos recursos florestais tem causado aumento da fragmentação e, conseqüentemente, inúmeras perdas a biodiversidade natural (Gonçalves et al. 2014), sendo, portanto, considera a mais impactante atividade humano sobre o meio ambiente (Wilson 1998).

A exploração da Mata Atlântica teve início ainda no século XVI, na Região Nordeste, com os plantios de cana-de-açúcar e, posteriormente, por café no Rio de Janeiro e São Paulo (Séculos XVIII e XIX), pecuário em São Paulo e Minas Gerais (Séculos XIX e XX), cacau na Bahia (Século XX) (Colombo; Joly 2010) e, mais recentemente, pela eucaliptocultura e expansão demográfica, visto que todas as capitais das regiões sul, sudeste e nordeste estão dentro do domínio da Mata Atlântica, comportando mais de 60% da população brasileira (Joly et al. 2014) o que a torna ainda mais vulnerável a fragmentação (Bellard et al. 2014).

Os processos de fragmentação florestal desempenham importante papel na composição genética de uma população, pois podem alterar os padrões de dispersão de pólenes e sementes (fluxo gênico), resultado do distanciamento entre indivíduos reprodutivos (Ghazoul 2005), ocasionando a diminuição do tamanho efetivo populacional (N_e) e, conseqüentemente, aumento da deriva genética e endogamia (El-Kassaby et al. 2019). Os resultados desses fatores são as alterações da diversidade e estrutura genética das populações, tornando-as cada vez mais susceptíveis, já que a diversidade genética remanescente não é adequada para lidar com mudanças evolutivas ao longo dos anos (Allendorf et al. 2010).

Devido aos efeitos nocivos causados pela fragmentação, esforços de resgate genético visando a conservação de alelos são necessários para expandir o tamanho efetivo populacional (N_e), cumprindo assim as metas de conservação em curto e longo prazo (El-Kassaby et al. 2019). A maneira mais eficaz de aumentar o tamanho da população e conservar as árvores ameaçadas é plantar diretamente sementes colhidas na natureza em bancos de conservação genética (Falk; Holsinger 1991) mas essas estratégias exigem supervisão, pois podem aumentar a endogamia se os genomas parentais não estiverem bem representados (Yang et al. 2018).

Segundo Sebbenn (2003) existem duas formas eficientes de conservação genética, a conservação *in situ* e a *ex situ*. A conservação *in situ* busca reter e manter parte da variabilidade genética de uma espécie no seu ambiente natural, preservando seu potencial evolutivo, além de salvaguardar a população inteira, bem como os organismos que com ela interagem. Esse tipo de conservação pode ser feito em

parques estaduais e nacionais, unidades de conservação, bosques, área de coleta de sementes entre outros. A conservação *ex situ* é uma forma complementar de conservação e visa reter ampla variabilidade genética de uma espécie em locais fora do seu habitat natural, como por exemplo, em bancos de germoplasma (Sebbenn 2003).

Na conservação *ex situ*, faz-se necessário manter alto N_e , devido possuir influência na capacidade de a população manter suas características genéticas ao longo das gerações, interferindo no processo evolutivo das espécies (Sebbenn 2003; Willi et al. 2007) e torna-se essencial na análise da viabilidade de conservação de uma população a médio e longo prazo (Espeland; Rice, 2010). No entanto, manter a diversidade genética máxima em espécies florestais nativas é uma tarefa desafiadora e requer a elaboração de estratégias adequadas (El-Kassaby et al. 2019).

Valores de N_e entre 30 e 60 são adequados para o alcance do teto seletivo e minimizam os efeitos de endogamia a curto prazo (Leonardecz Neto et al. 2003; Jamieson; Allendorf 2012). No entanto, seguindo metodologia proposta por Resende (2002), para que a conservação genética seja efetiva em longo prazo, são necessários valores de N_e em torno de 175 e 200, os quais podem ser alcançados coletando-se sementes em 60 matrizes, distribuídas em quatro populações representativas da espécie e, de cada matriz, 100 indivíduos serão coletados. Nesse sentido, alelos com frequência de até 2% serão retidos na população. Assim, um número máximo de alelos será mantido no banco de conservação, além de alta dissimilaridade genética entre os cruzamentos, o que reduzirá as taxas de endogamia.

Vencovsk (1986) afirma que para a manutenção de altos níveis de N_e , dependem da boa amostragem dentro da população e que esta deve ser realizada com controle genético feminino, ou seja, cada matriz contribuirá com o mesmo número de sementes para a conservação do germoplasma. Nesse sentido, a coleta de germoplasma para conservação genética deve abranger o maior número de matrizes e não o maior número de indivíduos por matrizes.

3. Melhoramento de espécies perenes

O melhoramento genético se baseia na seleção e recombinação de material superior e divergente e busca selecionar genótipos produtivos e de fácil adaptação às condições de um determinado ambiente, com maior tolerância a estresses bióticos e abióticos (Martins et al. 2005; He et al. 2012), sem com isso comprometer a base genética da população reprodutora, garantindo, assim, ganhos genéticos em longo prazo (Gapare 2014).

O sucesso de um programa de melhoramento genético de espécies perenes depende de altos níveis de diversidade genética, o que garante a manutenção do potencial evolutivo das espécies (Freitas et al. 2009), além do conhecimento do produto final de interesse, do germoplasma disponível, fatores ambientais que interferem na expressão fenotípica e de metodologias de seleção e melhoramento, destacando-se o emprego eficiente das técnicas de genética quantitativa (Resende 2002).

Nos últimos anos, o melhoramento genético, associado aos avanços na área de manejo florestal, tem proporcionado o estabelecimento de povoamentos produtivos e adequados a diferentes regiões do país (Martins et al. 2005), especialmente para as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo ainda incipientes para as espécies florestais nativas.

A seleção de indivíduos superiores das espécies florestais nativas para comporem plantios comerciais e populações base para futuros programas de melhoramento, quase que em sua totalidade baseiam-se na seleção massal, a qual eleva a frequência de alelos favoráveis e, segundo Oliveira e Farias Neto (2008), tem apresentado resultados satisfatórios no início dos programas de melhoramento com espécies florestais alógamas.

Alguns casos de sucesso com espécies florestais nativas são relatados na literatura, como por exemplo, para a erva-mate (*Ilex paraguariensis*), em que a seleção de genótipos em teste combinado de procedências e progênies resultou em ganhos genéticos para a produção de massa foliar (Sturion et al. 2017). Ganhos consideráveis na produção de borracha seca também foram obtidos na seleção de genótipos de seringueira (*Hevea brasiliensis*) em teste de progênies (Arantes et al. 2010).

Esses resultados mostram que as espécies florestais nativas possuem ampla base genética e, portanto, chances de ganhos com a seleção dentro de programas de melhoramento genético. No entanto, avanço de programas de conservação e

melhoramento genético de espécies florestais nativas depende da elaboração de estratégias de cruzamentos artificiais que reduzam a quantidade de progênies endogâmicas e a perda de diversidade por deriva genética, ocasionada, em muitos casos, pela coleta de sementes em baixo número de indivíduos e/ou matrizes isoladas.

4. Análises genéticas via Selegen REML/BLUP

A seleção de genótipos dentro dos programas de melhoramento genético pode ser realizada por caracteres quantitativos e/ou qualitativos, sendo a primeira mais amplamente utilizada. Segundo Cruz (2010), a Genética Quantitativa é a ciência que estuda os caracteres quantitativos, sua herança e os componentes determinantes de sua variação. Caracteres qualitativos são aqueles governados por um pequeno número de genes, em que cada fenótipo pode ser associado a um ou poucos genótipos. Os caracteres quantitativos, por sua vez, são governados por um grande número de genes e apresentam elevada influência do meio. Estes caracteres compõe a maioria dos caracteres de importância econômica, tais como os caracteres de crescimento (Resende 2002).

O sucesso no processo de seleção depende de precisas estimativas dos componentes de variância, sendo de grande importância no melhoramento genético de espécies perenes (Furlani et al. 2005). Eles podem ser alcançados através do uso de procedimentos ótimos de estimativa/previsão, o que levará à maximização do ganho genético da seleção (Resende et al., 1996).

Segundo Borém et al. (2017), as estimativas de herdabilidade e acurácia são os principais parâmetros utilizados em programas de melhoramento. A primeira diz respeito à quantidade de variação que é ocasionada pelos fatores genéticos e podem variar por diversos fatores como: a característica; o método de estimação; a diversidade na população; o nível de endogamia da população; o tamanho da amostra avaliada; o número e tipo de ambientes considerados; a unidade experimental considerada; a precisão na condução do experimento e da coleta de dados. A acurácia, por sua vez, refere-se à correlação entre os valores genéticos estimados e os valores genéticos verdadeiros. Quanto maior o valor de acurácia, maior será a confiança na avaliação e no valor genético predito dos indivíduos (Resende 2002).

Para o aumento dos ganhos genéticos dentro dos programas de melhoramento, métodos ótimos de seleção devem ser aqueles que maximizam as herdabilidades e acurácias. Esse método é o BLUP individual. O BLUP permite também o uso simultâneo de várias fontes de informação, como aquelas advindas de vários experimentos instalados em um ou vários locais, além de trabalhar com dados desbalanceados (Resende et al. 1996).

O procedimento ótimo de estimação desses componentes de variância é o de máxima verossimilhança residual ou restrita (REML), o qual é superior ao método de variância (ANOVA) em situações de dados desbalanceados e delineamento não ortogonais (como alguns blocos incompletos). O procedimento ótimo de avaliação é, portanto, o REML/BLUP (Resende 2007).

5. Enxertia em espécies florestais

O melhoramento genético de espécies perenes necessita de um longo período, devido envolver vários ciclos de seleção e recombinação, sendo necessário cerca de 18 anos, como relatado para espécies do gênero *Eucalyptus* (Pires et al. 2011) e 30 anos para *Hevea brasiliensis* (Furlani et al. 2005). Nesse sentido, reduzir a rotatividade de geração é de extrema importância, uma vez que possibilita diminuir o ciclo de reprodução e, conseqüentemente, aumenta as chances de ganho genético por unidade de tempo (Almqvist 2013).

Um passo importante para o início dos programas de melhoramento é estabelecer técnicas de propagação vegetativa para propagar genótipos superiores. Dentre os vários métodos de propagação vegetativa, a enxertia é uma estratégia de baixo custo e efetiva para resgatar materiais superiores, criar pomares para produção de sementes melhoradas e obter propágulos para outras técnicas, como estaquia e miniestaquia (Hartmann et al. 2011). A técnica também possibilita a seleção de porta-enxertos tolerantes a pragas e doenças em combinação com enxertos de alto rendimento, além de resgatar material vegetativo para a conservação genética (Cachique et al. 2018).

Como método de propagação vegetal é praticada pelos chineses há pelo menos 1400 anos antes de Cristo, principalmente em espécies de difícil propagação por estacas e por sementes (Mudge et al. 2009). A técnica de enxerto consiste em unir duas ou mais partes de diferentes plantas, sendo chamadas de enxerto e porta-enxerto. O porta-

enxerto tem função de sustentação e absorção de nutrientes, enquanto que o enxerto tem função de fotossíntese, floração e frutificação.

Hartmann et al. (2002) analisou a sequência de eventos na formação da união do enxerto: “(1) tecido de enxerto cortado capaz de atividade meristemática é posto em contato com tecido de estoque cortado de maneira semelhante, de modo que as regiões cambiais de ambos estão próximas para se interconectar a ponte do calo. Uma vez que os dois componentes do enxerto, estão em contato, novas células parenquimatosas proliferam, produzindo um tecido caloso que se entrelaça e se interliga, preenchendo os espaços entre os dois componentes que conectam o enxerto ao porta-enxerto. (2) As novas células do câmbio diferenciam-se do calo recém-formado, formando uma conexão cambial contínua entre o porta-enxerto e o enxerto. Antes da ligação do câmbio vascular através da ponte do calo, o xilema inicial e o floema são diferenciados. O xilema de reparo de feridas é geralmente o primeiro tecido diferenciado a unir a união do enxerto, seguido pelo floema de reparo de feridas. (3) Na última etapa do processo de estabelecimento do enxerto, a camada cambial recém-formada na ponte do calo inicia a atividade cambial típica, formando novos tecidos vasculares. A produção de novo xilema e floema permite a conexão vascular entre o enxerto e o porta-enxerto.

6. Indução de florescimento

A indução de florescimento precoce com o auxílio da aplicação de reguladores de crescimento tem sido comumente relatada para várias culturas, tais como: *Eucalyptus globulus* (Hasan; Reid 1995), *Citrus* spp. (Martínez-Fuentes et al. 2013), *Eucalyptus smithii* (Gardner et al. 2016), *Malus domestica* (Zhang et al. 2016), *Mangifera indica* (Bindu et al. 2018) e *Plinia* spp. (Kosera Neto et al. 2018), tendo como principais vantagens a antecipação da fase adulta (Gardner et al. 2016), aumento de floração (Zhang et al. 2016), regulação do crescimento (Hasan; Reid 1995; Willians et al. 1999) e, em muitos casos, podem proteger as plantas contra vários estresses, incluindo déficit hídrico, resfriamento e altas temperaturas, salinidade e inundações (Soumya et al. 2017).

O paclobutrazol (PBZ), pertencente à família dos triazóis, [(2RS, 3RS)-1-(4-clorofenil)-4, 4-dimetil-2-(1H-, 2, 4-triazol-1-il)-pentan-3-ol] vem ganhando destaque entre os reguladores de crescimento, devido sua aplicação promover o florescimento

antecipado e abundante (Soumya et al. 2017). A indução do florescimento em consequência da aplicação do PBZ, é resultado de sua ação na inibição da síntese de giberelinas, substância responsável pelo crescimento (Kishore et al., 2015), direcionando os carboidratos antes disponíveis para o crescimento vegetativo para a indução de florescimento (Upreti et al. 2014). Segundo Upreti et al. (2014) a alocação de carboidratos é de fundamental importância para a promoção da floração os quais promovem a diferenciação das gemas florais.

REFERÊNCIAS

- Allendorf, F.W., Hohenlohe, P.A., Luikart, G. (2010). Genomics and the future of conservation genetics. *Nature reviews genetics*, **11**: 697–709. doi: :10.1038/nrg2844.
- Almqvist, C. (2013). Interstock effects on topgraft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. *Canadian journal of forest research*, **43**: 584–588. doi: 10.1139/cjfr-2012-0507.
- Arantes, F.C., Gonçalves, P. de S., Scaloppi Junior, E.J., Moraes, M.L.T., Resende, M.D.V. (2010). Ganho genético com base no tamanho efetivo populacional de progênies de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **45**: 1419–1424. doi:10.1590/S0100-204X2010001200012.
- Bellard, C., et al. (2014). Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, **23**: 1376–1386. doi: 10.1111/geb.12228.
- Borem, A., Miranda, G.V., Fritsche Neto, R. (2017). *Melhoramento de Plantas*. 7. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 543p.
- Cachique, D.H., Solsol, H.R., Sanchez, M.A.G., López, L.A.A., Kodahl, N. (2018). Vegetative propagation of the underutilized oilseed crop sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, **65**: 2027–2036. doi: 10.1007/s10722-018-0659-9.
- Colombo, A.F., Joly, C.A. (2010). Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, **70**: 697–708.
- Cruz, C.D. (2010). *Princípios de Genética Quantitativa*. Viçosa, MG: UFV. 394p.
- El-Kassaby, Y.A., et al. (2019). Concept for gene conservation strategy for the endangered Chinese yellowhorn, *Xanthoceras sorbifolium*, based on simulation of pairwise kinship coefficients. *Forest Ecology and Management*, **432**: 976–982. doi: 10.1016/j.foreco.2018.10.045.
- Espeland, E.K., Rice, K.J. (2010). Ecological effects on estimates of effective population size in an annual plant. *Biological conservation*, **143**: 946–951. doi: 10.1016/j.biocon.2010.01.003.
- Falk, D.A. Holsinger, K. E. (1991). *Genetics and Conservation of Rare Plants*. (Oxford University Press, Demand).

- Feres, J.M., et al. (2012). Mating system parameters at hierarchical levels of fruits, individuals and populations in the Brazilian insect-pollinated tropical tree, *Tabebuia roseo-alba* (Bignoniaceae). *Conservation Genetics*, **13**: 393–405. doi: 10.1007/s10592-011-0292-z.
- Figueiredo, E. O., Fearnside, P. M., Braz, E. M., & Papa, D. D. A. (2017). Equations to estimate tree gaps in a precision forest management area the amazon based on crown morphometry. *Revista Árvore*, **41**: 1–12. doi: 10.1590/1806-90882017000300013.
- Freitas, R.D., et al. (2009). Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. *Revista Árvore*, **33**: 25–263.
- Furlani, R.C.M., et al. (2005). Estimation of variance components and prediction of breeding values in rubber tree breeding using the REML/BLUP procedure. *Genetics and Molecular Biology*, **28**: 271–276.
- Gapare, W. J. (2014). Merging applied gene conservation activities with advanced generation breeding initiatives: a case study of *Pinus radiata* D. Don. *New forests*, **45**: 311–331. doi: 10.1007/s11056-013-9398-0.
- Gardner, R.A.W., Bertling, I., Savage, M.J., Naidoo, S. (2016). Investigating optimal site conditions for flower bud production in *Eucalyptus smithii* orchards in South Africa. *Australian Forestry*, **79**: 137–146. doi: 10.1080/00049158.2016.1159164.
- Ghazoul, J. (2005). Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biological Reviews*, **80**: 413–443.
- Gonçalves, L.O., Pinheiro, J.B., Zucchi, M.I., Silva-Mann, R. (2014). Caracterização genética de mulungu (*Erythrina velutina* Willd.) em áreas de baixa ocorrência. *Revista Ciência Agronômica*, **45**: 290–298.
- Hartmann, H.T., et al., (2002) H.T. Hartmann, D.E. Kester, F.T. Davies, R.L. Geneve *Plant Propagation. Principles and Practices* (seventh ed.), 0-13-679235-9, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ pp. 849.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., DAVIES, J.R.F.T., Geneve, R.L. (2011). *Propagação de plantas: princípios e práticas*. 8 th ed. Prentice-Hall, 915 p.
- Hasan, O., Reid, J.B. (1995). Reduction of generation time in *Eucalyptus globulus*. *Plant Growth Regulation*, **17**: 53–60.

- He, X., et al. (2012). Quantitative genetics of cold hardiness and growth in *Eucalyptus* as estimated from *E. urophylla* × *E. tereticornis* hybrids. *New forests*, **43**: 383–394. doi: 10.1007/s11056-011-9287-3.
- Higa, A.R., Silva, L.D. (2006). *Pomar de sementes de espécies florestais nativas*. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 266 p.
- Jamieson, I.G., Allendorf, F.W. (2012). How does the 50/500 rule apply to MVPs?. *Trends in ecology & evolution*, **27**: 578–584. doi: 10.1016/j.tree.2012.07.001.
- Joly, C.A, Metzger, J.P, Tabarelli, M. (2014). Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, **204**: 459–73.
- Kim, D.H., Sexton, J. O., Townshend, J.R. (2015). Accelerated deforestation in the humid tropics from the 1990s to the 2000s. *Geophysical Research Letters*, **42**: 3495–3501. doi: 10.1002/2014GL062777.
- Kishore, K., Singh, H.S., Kurian, R.M. (2015). Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, **85**: 863–872.
- Kosera Neto, C., Porto, A.H., Silva, M.D., Radaelli, J.C., Wagner Júnior, A. (2018). Reproductive and vegetative behavior of hybrid jabuticaba tree under flowering induction. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **48**: 118–125.
- Laurance, W.F., Useche, D.C. (2009). Environmental synergisms and extinctions of tropical species. *Conservation Biology*, **23**: 1427–1437.
- Leonardez Neto, E., Vencovsky, R., Sebben, A.M. (2003). Ajuste para competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. *Scientia Forestalis*, **63**: 136–149.
- Martínez-Fuentes, A., et al. (2013). Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing *Citrus* spp. *Scientia Horticulturae*, **151**: 122–127. doi: 10.1016/j.scienta.2012.12.014.
- Martins, I.S., Cruz, C.D., Rocha, M. das G. de B., Regazzi, A.J., Pires, I.E. (2005). Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênes de *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, **11**: 16–24.
- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S., Goldschmidt, E.E. (2009). A History of Grafting. *Horticultural reviews*, **35**: 437–493.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**: 853–858.

- Nascimento, D.F., Leles, P.S. dos S., Oliveira Neto, S.N., Moreira, R.T.S., Alonso, J.M. (2012). Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. *Cerne*, **18**: 159–165.
- Oliveira, M. do S.P., Farias Neto, J.T. (2008) Seleção massal em açaizeiros para a produção de frutos. *Revista de Ciências Agrárias*, **49**: 145–156.
- Pires, I.E., Resende, M.D.V., Silva, R.L., Resende Junior, M.F.R. (2011). *Genética Florestal*, Ed. 1, Viçosa, Minas Gerais, Editora Arka, 319 p.
- Pupin, S., et al. (2017) Variabilidade genética e ganhos de seleção em progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. *All. Nativa*, **5**: 59–65. doi: 10.5935/2318-7670.v05n01a10.
- Resende, M.D.V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 975f.
- Resende, M.D.V. (2007). *Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético*. Colombo: Embrapa Florestas, 561 p.
- Resende, M.D.V., Prates, D.F., Yamada, C.K., Jesus, A. (1996). Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, **32/33**: 23–42.
- Sant'Ana, V.Z., et al. (2013). Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em Luiz Antonio, SP, Brasil. *Hoehnea*, **40**: 515–520.
- Santos, P.L., Ferreira, R.A., Aragão, A.G., Amaral, L.A., Oliveira, A.S. (2012). Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. *Revista Árvore*, **36**: 237–245.
- Santos, W.D., et al. (2018). Genetic variation and effective population size in *Dipteryx alata* progenies in pederneiras, São Paulo, Brazil. *Revista Árvore*, **42**: 1–8. doi: 10.1590/1806-90882018000300010.
- Sebbenn, A.M. (2003). Tamanho amostral para conservação ex situ de espécies arbóreas com sistema misto de reprodução. *Revista do Instituto Florestal*, **15**: 147–162.
- Soumya, P.R., Kumar, P., Pal, M. (2017). Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, **22**: 267–278. doi: 10.1007/s40502-017-0316-x.

- Sturion, J.A., Stuepp, C.A., Wendling, I. (2017). Genetic parameters estimates and visual selection for leaves production in *Ilex paraguariensis*. *Bragantia*, **76**: 492–500. doi: 10.1590/1678-4499.2016.419.
- Upreti, K.K., Prasad, S.S., Reddy, Y.T.N., Rajeshwara, A.N. (2014). Paclobutrazol induced changes in carbohydrates and some associated enzymes during floral initiation in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. *Indian Journal of Plant Physiology*, **19**: 317–323. doi: 10.1007/s40502-014-0113-8.
- Valentini, C.M.A., Rodriguez-Ortiz, C.E., Coelho, M.F.B. (2010). *Siparuna guianensis* Aublet ("negramina"): a review. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, **12**: 96–104. doi: 10.1590/S1516-05722010000100014.
- Vencovsky, R. (1986). Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. *Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos-Boletim de pesquisa e Desenvolvimento*, **1**: 1–16.
- Willi, Y., Van Buskirk, J., Schmid, B., Fischer, M. (2007). Genetic isolation of fragmented populations is exacerbated by drift and selection. *Journal of evolutionary biology*, **20**: 534–542. doi: 10.1111/j.1420-9101.2006.01263.x.
- Willians, D.R., Ross, J.J., Reid, J.B., Potts, B.M. (1999). Response of *Eucalyptus nitens* seedlings to gibberellin biosynthesis inhibitors. *Plant Growth Regulation*, **27**: 125–129.
- Wilson, E.O. (1998). *Biodiversity*. Washington: National Academic Press.
- Yang, Y., et al. (2018). Genomic effects of population collapse in a critically endangered ironwood tree *Ostrya rehderiana*. *Nature communications*, **9**: 1–9. doi: 10.1038/s41467-018-07913-4.
- Zhang, S., et al. (2016). Effect of exogenous GA3 and its inhibitor paclobutrazol on floral formation, endogenous hormones, and flowering-associated genes in 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.). *Plant Physiology and Biochemistry*, **107**: 178–186. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.005.

SEÇÃO 3
CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

ANÁLISES GENÉTICAS E OTIMIZAÇÃO DE SELEÇÃO EM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL PARA FORMAÇÃO DE POMAR DE RECOMBINAÇÃO

RESUMO

A perda de diversidade genética de espécies arbóreas nativas tem despertado o interesse para a conservação genética ex situ. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi estimar os parâmetros genéticos a partir de teste de progênies de seis espécies florestais nativas para fins de formação de banco de conservação genética, melhoramento e restauração florestal. Um teste de progênies com as espécies *Mabea fistulifera*, *Anadenanthera peregrina*, *Plathymania reticulata*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis* e *Piptadenia gonoacantha* foi avaliado aos 42 meses de idade para a altura total, altura da primeira bifurcação, DAP, volume e sobrevivência. Os parâmetros genéticos foram estimados e em seguida, procedeu-se otimização de seleção, com base no tamanho efetivo populacional (N_e), taxa de endogamia (F) e ganho genético. Aos 42 meses, a sobrevivência das progênies no teste foi superior a 76%, o que demonstra boa adaptação às condições do estudo. Os valores de herdabilidade individuais e de média de progênies foram de baixa a moderada magnitude, revelando chances de obtenção de ganhos genéticos com a seleção de genitores. Somente as progênies de *A. peregrina* não possuíram boas perspectivas para o avanço genético, por terem baixos valores de herdabilidade. A otimização de seleção permitiu a visualização de diferentes cenários para formação do pomar de sementes por mudas (PSM), com ganhos genéticos, N_e e F variáveis entre espécies. A seleção, associada à otimização concilia a obtenção de ganhos genéticos com a manutenção de diversidade genética no teste. O teste possui condições favoráveis para a seleção, logo a média da população pode ser melhorada via seleção de progênies e indivíduos dentro de progênies para comporem a população parental em um PSM.

Palavras-chave: Conservação de germoplasma, melhoramento genético, modelos mistos, tamanho efetivo populacional

ABSTRACT

Forest exploitation has been responsible for a great loss of biological diversity, which has aroused interest in ex situ genetic conservation. In this sense, the objective of this work was to estimate the genetic parameters from the progeny test of six native forest species for purposes of genetic conservation, genetic improvement and forest restoration. A progeny test with the species *Mabea fistulifera*, *Anadenanthera peregrina*, *Plathymenia reticulata*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis* and *Piptadenia gonoacantha* was evaluated at 42 months of age for total height, height of the first bifurcation, DBH, volume and survival. The genetic parameters were estimated and then, selection was optimized, based on effective population size (N_e), inbreeding rate (F) and genetic gain. At 42 months, the progeny survival in the test was over 76%, which shows good adaptation to the study conditions. The individual heritability and mean progeny values were low to moderate, revealing the chances of gaining genetic gains with the selection of parents. Only the progenies of *A. peregrina* did not have good perspectives for the genetic advance, because they have low values of heritability. The optimization of selection allowed the visualization of different scenarios for the formation of the seed orchard by seedlings (PSM), with genetic gains, N_e and F variables between species. The selection, associated with optimization, reconciles the achievement of genetic gains with the maintenance of genetic diversity in the test. The test has favorable conditions for selection, so the mean of the population can be improved by selection of progenies and individuals within progenesis to make up the parental population in a PSM.

Keywords: Conservation of germplasm, effective population size, genetic breeding, mixed models

1. Introdução

O desmatamento de áreas naturais em vários biomas brasileiros, é responsável por grande perda de diversidade biológica (Cardinale et al. 2012; FAO, 2014) fazendo com que mais de 90% do bioma da Mata Atlântica brasileira tenha se perdido (Colombo; Joly 2010). Essas perdas ameaçam a sobrevivência das espécies, devido à redução dos níveis de variação genética ocasionada pela fragmentação das populações (deriva genética), que leva ao fenômeno da depressão endogâmica (Ratnam et al. 2014; Vinson et al. 2015). A fragmentação pode comprometer a movimentação de polinizadores e dispersores de sementes, fazendo com que haja redução no fluxo gênico das espécies e, conseqüentemente, sua perpetuação ao longo dos anos (Zucchi et al. 2017).

Apesar da relevância que as espécies florestais nativas possuem, ainda são limitados os investimentos em pesquisas que visem à seleção e melhoramento dessas espécies com vistas ao reflorestamento, o que representa um grande desafio ao setor produtivo, especialmente pela escassez de informações silviculturais. Contrapondo a isso, temos os casos de sucesso alcançados nas últimas décadas com espécies exóticas dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que juntas, são responsáveis por cerca de 7,3 milhões de hectares de florestas plantadas atualmente no país, enquanto que as espécies florestais nativas plantadas comercialmente em plantios homogêneos representam menos de 0,59 milhões de hectares (IBA, 2017).

Nesse sentido, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias de conservação e melhoramento genético que garantam a sobrevivência dessas populações, especialmente para as espécies endêmicas (Martins et al. 2018). Entretanto, para que programas dessa magnitude tenham sucesso, faz-se necessário conhecer a variação genética existente, a qual pode ser explorada pela seleção para a obtenção de materiais geneticamente superiores e mais adaptados, sendo, em muitos casos, estimados em testes de procedências e progênies instalados em locais representativos, que podem servir também como bancos de conservação *ex situ* (Zaruma et al. 2015; Martins et al. 2018).

Devido à relativa importância ecológica e econômica que as espécies florestais nativas exercem na sociedade, a proposta desse trabalho foi estimar parâmetros os genéticos para caracteres de crescimento e sobrevivência em um teste de progênies com seis espécies florestais nativas, para fins de formação de um banco de conservação genética, produção de sementes para reflorestamento, restauração florestal e melhoramento genético.

2. Material e métodos

2.1. Condições ambientais e material genético

O estudo foi realizado em um teste de progênies de seis espécies arbóreas nativas do Brasil (Tabela 1), estabelecido em 2014 na Fazenda da Fumaça localizada no município de Santana de Cataguases, MG (latitude 21° 17' 14" S; longitude 42° 33' 26" W; altitude 232 m). O clima do município é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, com pluviosidade e temperatura média anual de 1278 mm e 23°C, respectivamente.

As sementes foram coletadas de matrizes localizadas nos municípios de Viçosa, Muriaé, Leopoldina, Juiz de Fora, Cajuri, Porto Firme, Senhora de Oliveira, Laranjal, Ubá, Piranga, Lamim, Rio espera, Dionísio, Presidente Bernardes, Reduto, Recreio, Caratinga, Marliéria, Teixeiras, Belo Oriente, São José do Goiabal, Brás Pires, Rio Pomba, São Miguel do Anta e Manhuaçu. A escolha das matrizes se baseou em seu potencial produtivo, boa formação da copa, estado fitossanitário e porte. Além disso, considerou-se uma distância mínima de 150 m entre indivíduos, de modo a evitar a coleta de material endogâmico.

O teste foi estabelecido em formato homogêneo, ou seja, as progênies de cada espécie ficaram em um único "bloco" os quais seguiram um delineamento de blocos ao acaso, em 10 repetições e uma planta por parcela, em arranjo de 5,0 x 5,0 m. As espécies utilizadas, número de famílias por espécie e seus estágios sucessionais estão listados na tabela 1.

Tabela 1. Nomes científicos e comuns, estágio sucessional e número de famílias de seis espécies arbóreas nativas presentes no teste de progênies em Santana de Cataguases, MG

Família	Nome científico	Nome comum	GE	Nº de Progênies
Euphorbiaceae	Mabea fistulifera Mart.	Canudo-de-pito	PI	16
Euphorbiaceae	Anadenanthera peregrina (L.) Speg.	Angico-vermelho	SI	21
Fabaceae	Plathymenia reticulata Benth.	Vinhático	CL	30
Fabaceae	Hymenaea courbaril L.	Jatobá	CL	30
Lecythidaceae	Lecythis pisonis Camb.	Sapucaia	CL	34
Fabaceae	Piptadenia gonoacantha (Mart.) J. F. Macbr.	Pau-jacaré	SI	34

GE: grupo ecológico; PI: pioneira; SI: secundária inicial; CL: clímax.

2.2. Avaliações silviculturais

As alturas totais (ALT, m), altura da primeira bifurcação (HBF, m) e diâmetro à altura do peito (DAP, cm) foram medidos aos 42 meses de idade, além da sobrevivência (%) das progênies. As alturas foram mensuradas com auxílio de uma régua de 6 m e o DAP foi medido com fita diamétrica. O volume (VOL, m³) individual foi estimado conforme a expressão:

$$VOL = \frac{\pi \times DAP^2 \times ALT \times f}{40.000}$$

Em que: VOL = volume da árvore em m³; DAP = diâmetro à altura do peito em cm; ALT = altura total em m; *f* = fator de forma (0,7 para espécies florestais nativas, segundo Higuchi et al. 2004).

2.3. Modelo estatístico

O modelo estatístico adotado para a análise dos dados e obtenção dos valores genéticos dos indivíduos e das progênies de meios-irmãos foi dado por:

$$y = Xr + Za + e$$

Em que “y” é o vetor de dados, “r” é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, “a” é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), e “e” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras **X** e **Z** representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. A análise foi realizada utilizando software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016).

2.4. Seleção de potenciais genitores

Após a análise dos componentes de variância, foi obtido o ranqueamento dos dez melhores indivíduos (por espécie) potenciais genitores com valores genéticos aditivos preditos ($u + a$) superiores, considerando sempre a característica com maior herdabilidade e acurácia.

2.5. Seleção de progênes

Como estratégia de seleção para a obtenção de ganhos genéticos, as famílias (de cada espécie) foram ranqueadas com base no valor genético predito ($u + a$) para a característica com maior herdabilidade e acurácia. O ganho de seleção por progênie foi calculado utilizando o valor genético em razão da média geral das progênes.

2.6. Otimização de seleção

A partir dos resultados de ordenamento dos melhores indivíduos pelos seus valores genéticos obtidos via análise estatística no software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016), foi feito o processo de otimização de seleção na população. Neste processo, diferentes cenários de seleção foram simulados, buscando maximizar a diversidade genética na população, reduzir a endogamia (F) e aumentar os ganhos genéticos para o próximo ciclo seletivo.

A representatividade genética de uma população de melhoramento que leva em consideração o número de progênes selecionadas (N_f) e indivíduos por progênie (K_f), pode ser estimada via tamanho efetivo populacional (N_e) (Resende 2002).

Para progênies de meios-irmãos, com igual número de indivíduos selecionados por progênie, o tamanho efetivo foi dado por:

$$N_e = \frac{4N_f k_f}{k_f + 3}$$

Em que: N_f = número de progênies selecionadas; k_f = número médio de indivíduos selecionados por progênie.

O coeficiente de endogamia (F) refere-se as chances de ocorrem cruzamentos entres indivíduos aparentados em uma população (Resende 2002). Quanto maiores os valores de F em uma população alógama, maior a probabilidade de perdas de alelos via deriva genética. O F apresenta uma relação com o N_e , uma vez que:

$$F = \frac{1}{2N_e}$$

A otimização de seleção foi realizada via simulação de cenários nos quais diferentes tamanhos efetivos populacionais (N_e), taxas de endogamia (F) e ganhos acumulados corrigidos pela endogamia das populações selecionadas foram obtidos. Para tanto, a seleção dos melhores indivíduos foi aplicada com base nas progênies com valores genéticos positivos. Com isso, a otimização consistiu na escolha do cenário ideal, em que se maximizou os ganhos genéticos, com valores de F relativamente baixos e alto valor de N_e para o cenário em questão. O ganho calculado via seleção de indivíduo e dentro de progênies foi dado por:

$$Ganho (\%) = 100 \times \left(\frac{M_i - M_g}{M_g} \right)$$

$$Ganho\ corrigido (\%) = Ganho (\%) - [Ganho (\%) \times F]$$

Onde:

M_i = média genética dos indivíduos selecionados; M_g = média geral das progênies; F = índice de fixação de alelos ou endogamia.

3. Resultados

3.1. Parâmetros genéticos

Os parâmetros genéticos dos caracteres avaliados foram estimados e podem ser observados na tabela 2. O coeficiente de variação experimental foi considerado de baixa magnitude ($\leq 20,0\%$), exceto para a SOB de *M. fistulifera* e *L. pisonis*, HBF de *A. peregrina*, DAP de *A. peregrina* e VOL de todas as espécies.

A estimativa de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2a) para SOB teve baixa magnitude em todas as espécies. A maior porcentagem de SOB foi observado entre as progênies de *A. peregrina* e *P. gonoacantha* (SOB $>92,92\%$).

As estimativas de h^2a para as características de crescimento tiveram valores de baixa a média magnitude, com moderados valores para ALT das progênies de *M. fistulifera* e *P. reticulata*, HBF de *M. fistulifera* e DAP de *P. reticulata* e *H. courbaril*. Os valores de h^2a para o VOL das progênies foram baixos em todas as espécies do teste.

As estimativas de herdabilidade em nível de média de progênies (h^2mp) seguiram o mesmo padrão anteriormente citado, com valores de baixa a média magnitude. Os valores de média magnitude de h^2mp foram observadas para ALT de *M. fistulifera*, *P. reticulata*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha*, HBF de *M. fistulifera*, DAP de *P. reticulata*, *H. courbaril* e *P. gonoacantha* e VOL de *P. reticulata*, *H. courbaril* e *P. gonoacantha*. As estimativas de h^2a e h^2mp foram baixas para todas as características avaliadas de *A. peregrina* (Tabela 2).

As acurácias ($Acprog$) dos valores genéticos preditos variaram de 0,048 (DAP; *M. fistulifera*) a 0,539 (DAP; *P. reticulata*) e foram maiores para ALT de *M. fistulifera* e *L. pisonis*, DAP de *P. reticulata* e *H. courbaril* e VOL de *P. gonoacantha* (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos em teste de progênies de seis espécies florestais nativas em relação à sobrevivência (SOB), altura total (ALT), altura da primeira bifurcação (HBF), diâmetro a altura do peito (DAP) e volume (VOL)

Espécie	SOB						
	h^2a	h^2mp	$Acprog$	$Cv_{gp}\%$	$CVe\%$	CVr	Média (%)
<i>M. fistulifera</i>	0,004	0,008	0,087	2,899	30,590	0,095	56,30
<i>A. peregrina</i>	0,006	0,014	0,116	0,488	4,181	0,117	98,60
<i>P. reticulata</i>	0,111	0,233	0,483	9,870	18,972	0,520	74,40

H. courbaril	0,086	0,189	0,435	9,046	19,871	0,455	74,80
L. pisonis	0,012	0,029	0,172	9,175	27,637	0,166	60,60
P. gonoacantha	0,006	0,013	0,114	1,083	9,416	0,115	92,90
ALT							
Espécie	h ² a	h ² mp	Acprog	Cvgp%	CVe%	CVr	Média (m)
M. fistulifera	0,259	0,268	0,517	7,283	9,093	0,800	2,224
A. peregrina	0,010	0,024	0,156	2,825	18,417	0,153	2,479
P. reticulata	0,157	0,239	0,489	8,867	14,233	0,623	2,881
H. courbaril	0,009	0,016	0,127	1,792	12,256	0,146	1,969
L. pisonis	0,138	0,181	0,426	6,531	11,196	0,583	1,814
P. gonoacantha	0,078	0,159	0,399	3,921	8,970	0,427	4,668
HBF							
Espécie	h ² a	h ² mp	Acprog	Cvgp%	CVe%	CVr	Média (m)
M. fistulifera	0,235	0,249	0,499	14,133	18,589	0,760	0,236
A. peregrina	0,006	0,012	0,112	3,043	26,788	0,114	0,989
P. reticulata	0,015	0,028	0,168	9,470	50,009	0,189	0,266
H. courbaril	0,029	0,055	0,233	10,074	38,048	0,265	0,479
L. pisonis	0,083	0,116	0,341	7,376	16,437	0,449	1,598
P. gonoacantha	0,007	0,016	0,126	7,729	58,731	0,132	0,857
DAP							
Espécie	h ² a	h ² mp	Acprog	Cvgp%	CVe%	CVr	Média (cm)
M. fistulifera	0,002	0,004	0,048	1,019	11,002	0,093	5,850
A. peregrina	0,061	0,139	0,372	10,407	27,281	0,382	4,381
P. reticulata	0,204	0,291	0,539	8,387	11,745	0,714	10,127
H. courbaril	0,142	0,221	0,469	6,887	11,683	0,589	4,898
L. pisonis	0,005	0,006	0,076	1,577	14,475	0,109	1,696
P. gonoacantha	0,099	0,193	0,439	6,816	13,869	0,492	6,249
VOL							
Espécie	h ² a	h ² mp	Acprog	Cvgp%	CVe%	CVr	Média (m ³)
M. fistulifera	0,006	0,006	0,077	3,457	30,197	0,115	0,005
A. peregrina	0,009	0,024	0,154	10,921	72,282	0,151	0,008
P. reticulata	0,130	0,206	0,454	29,034	51,429	0,565	0,023
H. courbaril	0,089	0,151	0,389	14,122	30,281	0,466	0,004

L. pisonis	0,006	0,007	0,083	6,813	57,327	0,119	0,000
P. gonoacantha	0,137	0,249	0,489	20,312	35,043	0,579	0,014

h^2a : herdabilidade individual no sentido restrito; h^2mp : herdabilidade da média de progênies; Acprog: acurácia da seleção de progênies; $CVgp\%$: coeficiente de variação genotípica entre progênies; $CVe\%$: coeficiente de variação residual; CVr : coeficiente de variação relativa.

3.2. Seleção de potenciais genitores

Os ganhos obtidos com a seleção dos dez melhores indivíduos de *M. fistulifera* (ALT) (ver tabela suplementar 1), *A. peregrina* (DAP) (ver tabela suplementar 2), *P. reticulata* (DAP) (ver tabela suplementar 3), *H. courbaril* (DAP) (ver tabela suplementar 4), *L. pisonis* (ALT) (ver tabela suplementar 5) e *P. gonoacantha* (VOL) (ver tabela suplementar 6) foram superiores a 8,339, 14,389, 16,109, 12,372, 9,066 e 44,467%, respectivamente, em relação à média geral das progênies. A *P. gonoacantha* obteve os maiores ganhos genéticos, com valores de até 86,747% (Tabela 7).

3.3. Seleção de progênies

As primeiras sete, nove, 16, 13, 18 e 14 famílias de *M. fistulifera*, *A. peregrina*, *P. reticulata*, *H. courbaril*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha*, respectivamente, possuem valores maiores que a média geral para as características de seleção (ALT, DAP, DAP, DAP, ALT e VOL, respectivamente), indicando que no processo de seleção para formação do pomar de sementes por mudas (PSM), tais progênies devem ser priorizadas, pois contribuiriam com ganhos genéticos para os próximos ciclos de seleção (ver tabela suplementar 7–12). A inclusão de outras famílias resultaria em diminuição dos ganhos com a seleção.

3.4. Otimização de seleção via tamanho efetivo populacional

O processo de otimização simulou cenários para a seleção das progênies com ganhos positivos das seis espécies com base no tamanho efetivo populacional (N_e),

coeficiente de endogamia (F) e ganhos genéticos positivos. Os resultados constam nos materiais suplementares.

As progênes de *M. fistulifera* e *A. peregrina* tiveram 19 e 25 cenários simulados para ganhos em ALT e DAP, respectivamente (ver tabela suplementar 13–14). Os ganhos corrigidos e tamanhos efetivos (N_e) foram baixos para as duas espécies, implicando em altos valores de endogamia (F), havendo-se a necessidade de inclusão de progênes no teste. Porém, em curto prazo, os cenários 17 (*M. fistulifera*) e 23 (*A. peregrina*) podem ser indicados para a formação do Pomar de sementes por mudas (PSM).

As progênes com ganhos positivos de *P. reticulata*, *H. courbaril*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha* permitiram a formação de 46, 37, 35 e 40 cenários, respectivamente. Os cenários 44 (*P. reticulata*), 35 (*H. courbaril*), 34 (*L. pisonis*) e 38 (*P. gonoacantha*) foram mais adequados para a formação do PSM com essas espécies, devido terem N_e superiores a 30 e porcentagens de F inferiores a 3%. A espécie *P. gonoacantha* teve o maior ganho genético no teste, sendo 129,82, 162,85 e 305,78% maior que os ganhos obtidos em *P. reticulata*, *H. courbaril* e *L. pisonis*, respectivamente.

4. Discussão

4.1. Sobrevivência, caracteres silviculturais e parâmetros genéticos

A maior porcentagem de sobrevivência das progênes de *A. peregrina* e *P. gonoacantha* aliada aos baixos valores de herdabilidade, sugerem que o ambiente exerceu forte influência sobre a sobrevivência das progênes, favorecendo a adaptação dessas duas espécies às condições do estudo, o que pode ser atribuída à sua ampla distribuição pela Zona da Mata Mineira (Ferreira Júnior et al. 2007). Por outro lado, a *M. fistulifera*, espécie com menor porcentagem de sobrevivência, é mais comumente encontrada no cerrado brasileiro (Lorenzi, 1992) e pode ter sido influenciada pelas diferentes condições de clima e solo, tornando-as menos adaptadas as condições experimentais (Santos et al. 2018).

As espécies de rápido crescimento como as do grupo ecológico das pioneiras e secundárias iniciais e boa sobrevivência, possuem grande importância em programas de reflorestamento e/ou recuperação de área degradada, pois servem como espécies de recobrimento e promovem rápido sombreamento da área, impedindo o desenvolvimento

de gramíneas invasoras além de proporcionar maior fixação biológica de nitrogênio, deixando-os disponíveis para outras plantas que não possuem associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Souza et al. 2013; Silva et al. 2016).

A variação da mortalidade de mudas entre espécies pode estar relacionada a vários fatores, como, por exemplo, o histórico de uso da área de plantio, a presença de espécies invasoras, o grau de degradação da área, a presença de pragas, estágio fitossociológico das espécies, manutenção da área, compactação do solo e utilização de espécies pouco adaptadas às condições de edafoclimáticas do local (Silva et al. 2016).

O crescimento mais lento de algumas espécies, como *P. reticulata* e *H. courbaril*, embora seja uma característica desfavorável à silvicultura, por gerar menor receita anual, é uma característica favorável à formação de madeira de melhor qualidade (Sebbenn et al. 2019) e, portanto, justifica a produção de sementes melhoradas dessas espécies.

A estimação dos parâmetros genéticos possui papel importante na seleção de genótipos em programas de melhoramento genético e conservação, pois auxilia na tomada de decisão no momento do desbaste seletivo para a formação do pomar de sementes por mudas (PSM) e/ou o banco de germoplasma, reduzindo o número de indivíduos aparentados e, conseqüentemente, a endogamia (Pires et al. 2014; Li et al. 2017). Entre os parâmetros genéticos a herdabilidade é um dos mais importantes, pois quantifica a fração da variância fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção (Resende 2002).

As magnitudes das herdabilidades individuais são classificadas em baixa ($0,01 \leq h^2a \leq 0,15$), média ou moderada ($0,15 \leq h^2a \leq 0,50$) e alta ($h^2a \geq 0,50$) (Resende, 2015), onde baixos valores indicam que os fatores genéticos pouco contribuíram para a expressão do fenótipo e, portanto, maior será a dificuldade para a obtenção de ganhos genéticos com a seleção (He et al. 2012; Hung et al. 2015), enquanto que o contrário é observado quando se tem altos valores de herdabilidade (Zaruma et al. 2015; Canuto et al., 2016). Assim, os moderados valores de herdabilidade observados indicam que há possibilidade de ganhos com a seleção, exceto para *A. peregrina* que sofreu forte ação do ambiente para todos os caracteres de crescimento.

As herdabilidades média de progênies (h^2mp) foram maiores que as h^2a para todos os caracteres de crescimento e, portanto, serão mais eficientes na obtenção de ganhos genéticos mediante a seleção de famílias, especialmente para as progênies de *M.*

fistulifera, *P. reticulata*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha* devido aos maiores valores de $Acprog$, indicando que houve moderada precisão na estimação dos valores genéticos preditos e, que estes, estão próximos dos valores genéticos reais (Pagliarini et al. 2016; Nunes et al. 2018; Castro et al. 2018).

A maior proporção de h^2_{mp} em relação h^2_a é comum em experimentos com espécies florestais nativas, e deve ser indicada no processo de seleção, devido possuir um nível mais adequado de precisão, em razão da diminuição dos erros experimentais pelo incremento proporcional do número de repetições (Rosado et al. 2012), sendo amplamente utilizado em programas de melhoramento, com relatos para as espécies *Hevea brasiliensis* (Arantes et al. 2010), *Eucalyptus camaldulensis* (Azevedo et al. 2015), *E. urophylla* (Henriques et al. 2018), *E. cloeziana* (Li et al. 2017) e híbridos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Belaber et al. 2018).

No geral, caracteres de crescimento possuem ação poligênica e, portanto, são muito influenciados pelo ambiente (Martins et al. 2018), refletindo diretamente em menores níveis de herdabilidades, especialmente em estágios juvenis (He et al. 2012; Pires et al. 2014; Castro et al. 2018), devendo-se, portanto, serem estimados ao longo dos anos, principalmente até a meia idade de rotação da cultura (Siqueira et al. 1993). Para a bifurcação, por exemplo, baixo controle genético também foi relatado em progênies de *D. alata* (Santos et al. 2018), *M. urundeuva* (Martins et al. 2018), *Picea mariana* (Wang et al. 2018) e *Pinus elliotti* var. *elliottii* (Pagliarini et al. 2016), confirmando que os efeitos aleatórios ambientais podem ser a principal causa da bifurcação, enquanto que os efeitos genéticos pouco contribuem (Li et al. 2017; Belaber et al. 2018).

4.2. Seleção de potenciais genitores e de progênies

Os ganhos genéticos observados na seleção dos dez potenciais genitores sugerem a existência de possibilidades de progresso genético na sequência das avaliações em idades mais avançadas, especialmente para *P. gonoacantha* que apresentou ganhos genéticos superiores a 80%. Os resultados então de acordo com o relatado para *Hevea brasiliensis*, cujos ganhos em produtividade de látex em um primeiro ciclo, foram próximos aos registrados na presente pesquisa (Costa et al. 2010).

É notório que quanto menor o número de indivíduos selecionados, maior será o ganho genético. Porém, a utilização de alta intensidade de seleção pode causar danos irreversíveis para o programa de melhoramento e conservação genética, por diminuir a frequência de alelos dentro da população base (Sturion et al. 2017). Nesse sentido, a estratégia de seleção de famílias traria boas perspectivas para o avanço genético na média da população e, mesmo que menores que as obtidas na seleção individual, são mais apropriadas, devido possuírem maior controle genético.

Desta maneira, a seleção em nível individual feita via metodologia de modelos mistos apresenta propriedade ótima e maximiza os ganhos com seleção. Porém atenção especial deve ser dada ao número de famílias e indivíduos selecionados, pois a seleção de poucos indivíduos pode levar à eliminação precoce de alelos importantes embora aumente o ganho genético (Pagliarini et al. 2016). Nesse sentido, faz-se necessário conciliar ganhos genéticos com manutenção de variabilidade por meio da construção de cenários que otimizarão o processo de seleção como os realizados na presente pesquisa.

4.3. Otimização de seleção via tamanho efetivo populacional

A otimização quando aplicada dentro das estratégias de melhoramento genético busca manter um balanço adequado entre o número de progênies e indivíduos por cruzamento, e considera o tamanho efetivo populacional (N_e) como medida de diversidade.

O tamanho efetivo populacional (N_e) possui forte influência na capacidade de a população manter suas características genéticas ao longo das gerações, pois interfere no processo evolutivo das espécies (Willi et al. 2007; Reis et al. 2011; Frankham et al. 2014) e torna-se essencial na análise da viabilidade de conservação em médio e longo prazo (Espeland; Rice, 2010), por ser intimamente associado com a quantidade de alelos raros em uma população, os quais podem ser primordiais para a sobrevivência das espécies em decorrência das mudanças no ambiente (Tamaki et al. 2018). Com isso, altos valores de N_e implicam em alta diversidade genética e redução dos problemas causados pela endogamia, tais como, redução contínua de fecundidade, geração de plantas anãs e improdutivas, diminuição do potencial adaptativo, esgotamento da variância genética (Hallander; Waldman, 2009) e deriva genética, responsável pela perda de alelos favoráveis ou fixação de alelos desfavoráveis (Temaki et al. 2018). Nesse sentido, a escolha de um cenário com maior ganho genético, envolvendo poucos

indivíduos, reduzirá a variação genética e poderá causar altos níveis de endogamia (>3%) e deriva genética em virtude da diminuição do N_e , o que poderá comprometer o programa de conservação genética e os ganhos em longo prazo (Hallander; Waldmann, 2009; Reis et al. 2011).

Em programas de melhoramento e conservação, os valores de N_e entre 30 e 60 são adequados para o alcance do teto seletivo e minimizam os efeitos de endogamia em curto prazo (cinco gerações) (Leonardecz Neto et al. 2003; Jamieson; Allendorf 2012). Assim, as espécies *P. reticulata*, *H. courbaril*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha* apresentam maior potencial para comporem o banco de conservação, devido possuírem valores de N_e superiores a 30. O contrário foi observado para as espécies *M. fistulifera* e *A. peregrina* as quais tiveram baixos valores de N_e e, portanto, a conservação não seria efetiva. Os baixos valores de N_e observados para essas duas espécies é consequência do menor número de progênies coletadas (16 e 21, respectivamente), fazendo com que um baixo número de famílias contribuísse efetivamente para os ganhos genéticos, o que fez com que apenas sete e nove famílias, respectivamente, participassem da otimização, enquanto que as demais espécies tiveram no mínimo 13 famílias.

Para a efetiva conservação em longo prazo valores mais altos de N_e são necessários ($N_e > 175$). Dessa forma, seguindo metodologia proposta por Resende (2002), sugere-se que as próximas expedições de coleta de germoplasma para introdução no banco, sejam realizadas em quatro populações representativas das espécies, com marcação de 15 matrizes em cada população e obtenção de 100 indivíduos por matriz. Assim, o banco de germoplasma será composto por 60 progênies (seis mil indivíduos) que reterão alelos com frequência maior que 2%. Nota-se que com essa recomendação, novos cruzamentos serão realizados e envolverão indivíduos de diferentes populações e famílias, o que contribuirá para o aumento da base genética do banco e, conseqüentemente, diminuição da endogamia potencial.

De modo geral, com exceção de *M. fistulifera* e *A. peregrina*, as espécies demonstraram resultados promissores para uso em programas de melhoramento genético, além de boas perspectivas na seleção de famílias superiores para formação de pomares de recombinação e hibridação em futuros programas de conservação e melhoramento genético.

5. Conclusões

Os parâmetros genéticos estimados para os caracteres de crescimento das seis espécies arbóreas nativas, excetuando-se *A. peregrina*, indicam condições favoráveis à seleção, logo a média da população pode ser melhorada pela seleção de progênies e indivíduos dentro de progênies para comporem a população parental em um pomar de sementes por mudas.

A espécie *A. peregrina* pode ser indicada, juntamente com a espécie *P. gonoacantha*, para futuros programas de restauração florestal, devido possuírem baixa porcentagem de mortalidade nas condições do estudo e podem servir como espécie de recobrimento.

Em se tratando de conservação genética, as espécies *P. reticulata*, *H. courbaril*, *L. pisonis* e *P. gonoacantha* possuem tamanhos efetivos adequados para a conservação, enquanto a conservação das espécies *M. fistulifera* e *A. peregrina* não seria efetiva nessas condições, necessitando, assim, complementar o banco com novas progênies coletadas em outras populações.

A seleção, associada à otimização, conduz a avanços genéticos consideráveis, pois concilia ganhos genéticos com a manutenção de diversidade genética no teste. Nesse sentido, um Pomar de Sementes por Mudanças (PSM) poderá ser formado a partir dessas análises e servir de fonte de sementes para programas de restauração florestal, reflorestamento comercial, conservação e melhoramento genético.

6. Referências

- Arantes, F.C., Gonçalves, P. de S., Scaloppi Junior, E.J., Moraes, M.L.T., Resende, M.D.V. (2010). Ganho genético com base no tamanho efetivo populacional de progênies de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **45**: 1419–1424. doi:10.1590/S0100-204X2010001200012.
- Azevedo, L.P., et al. (2015). Seleção genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* em área de cerrado matogrossense. *Ciência Rural*, **45**: 2001–2006. doi: 10.1590/0103-8478cr20131557.
- Belaber, E.C., Gauchat, M.E., Reis, H.D., Borralho, N.M., Cappa, E.P. (2018). Genetic Parameters for Growth, Stem Straightness, and Branch Quality for *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F1 Hybrid in Argentina. *Forest Science*, **64**: 595–608. doi:10.1093/forsci/fxy021.

- Bertonha, L.J., Freitas, M.L.M., Cambuim, J., Moraes, M.L.T., Sebbenn, A.M. (2016). Seleção de progênies de *Myracrodruon urundeuva* baseada em caracteres fenológicos e de crescimento para reconstituição de áreas de Reserva Legal. *Scientia Forestalis*, **44**: 95–104. doi: 10.18671/scifor.v44n109.09.
- Canuto, D.S. de O., Silva, A.M., Moraes, M.L.T., Resende, M.D.V. (2016). Estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva* sob quatro sistemas de plantio. *Cerne*, **22**: 171–180. doi: 10.1590/01047760201622021978.
- Cardinale, B.J., et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, **486**: 59–67. doi: 10.1038/nature11148.
- Castro, C.A. de O., et al. (2018). Comportamento da interação genótipos por locais aos três e nove anos em clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, **46**: 1–11.
- Colombo, A.F., Joly, C.A. (2010). Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, **70**: 697–708. doi: 10.1590/S1519-69842010000400002.
- Costa, R.B., Resende, M.D.V., Gonçalves, P. de S., Roa, R.A.R., Feitosa, K.C. de O. (2010). Predição de parâmetros e valores genéticos para caracteres de crescimento e produção de latex em progênies de seringueira. *Bragantia*, **69**: 49–56. doi: 10.1590/S0006-87052010000100007.
- Espeland, E.K., Rice, K.J. (2010). Ecological effects on estimates of effective population size in an annual plant. *Biological conservation*, **143**: 946–951. doi: 10.1016/j.biocon.2010.01.003.
- Ferreira Júnior, W.G., et al. (2007). Composição florística da vegetação arbórea de um trecho de floresta estacional semidecídua em Viçosa, Minas Gerais, e espécies de maior ocorrência na região. *Revista Árvore*, **31**: 1121–1130.
- Ferreira, W.C., Botelho, S.A., Davide, A.C., Faria, J.M.R. (2007). Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. *Revista Árvore*, **31**: 177–185.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2014). The state of the world's forest genetic resources. Rome: FAO; 276p.
- Frankham, R., Bradshaw, C.J., Brook, B.W. (2014). Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and

- population viability analyses. *Biological Conservation*, **170**: 56–63. doi: 10.1016/j.biocon.2013.12.036.
- Hallander, J., Waldmann, P. (2009). Optimum contribution selection in large general tree breeding populations with an application to Scots pine. *Theoretical and applied genetics*, **118**: 1133–1142. doi: 10.1007/s00122-009-0968-7.
- He, X., et al. (2012). Quantitative genetics of cold hardiness and growth in *Eucalyptus* as estimated from *E. urophylla* × *E. tereticornis* hybrids. *New forests*, **43**: 383–394. doi: 10.1007/s11056-011-9287-3.
- Henriques, E., et al. (2018). Seleção genética em teste de progênes de irmãos completos de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, **46**: 405–413. doi: 10.18671/scifor.v46n119.08.
- Higuchi, N., et al. (2004). Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, **34**: 295–304. doi: 10.5380/rf.v34i3.2417.
- Hung, T.D., et al. (2015). Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus pellita* F. Muell. to support tree breeding in Vietnam. *Annals of forest science*, **72**: 205–217. doi: 10.1007/s13595-014-0426-9.
- Indústria brasileira de árvores (IBA). (2017). O setor brasileiro de árvores plantadas. 77 p.
- Jamieson, I.G., Allendorf, F.W. (2012). How does the 50/500 rule apply to MVPs?. *Trends in ecology & evolution*, **27**: 578–584. doi: 10.1016/j.tree.2012.07.001.
- Leonardez Neto, E., Vencovsky, R., Sebben, A.M. (2003). Ajuste para competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. *Scientia Forestalis*, **63**: 136–149.
- Li, C., et al. (2017). Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *New forests*, **48**: 33–49. doi: 10.1007/s11056-016-9554-4.
- Lorenzi, H. (1992). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP. *Plantarum*, **1**: 385p.
- Martins, K., et al. (2018). Genetic variation and effective population size of a *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. provenance and progeny test. *Journal of Forest Research*, **23**: 1–9. doi: 10.1080/13416979.2018.1483130.
- Nunes, A.C.P., Santos, O.P., Santos, G.A., Resende, M.D.V. (2018). Statistical strategies design based on competition classes of *Eucalyptus* clones. *Industrial Crops and Products*, **124**: 66–73. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.07.026.

- Otsubo, H. de C.B., et al. (2015). Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do Bolsão Sul-Mato-Grossense. *Cerne*, **21**: 535–544. doi: 10.1590/01047760201521041317.
- Pagliarini, M.K., et al. (2016). Adaptability, stability, productivity and genetic parameters in slash pine second-generation families in early age. *Silvae Genetica*, **65**: 71–82. doi:10.1515/sg-2016-0010.
- Pires, V.C.M. et al. (2014). Variação genética em caracteres silviculturais em teste de progênies de *Anadenanthera falcata* (Benth) Speng. *Scientia Forestalis*, **42**: 565–571.
- Ratnam, W., et al. (2014). Genetic effects of forest management practices: global synthesis and perspectives. *Forest Ecology and Management*, **333**: 52–65. doi: 10.1016/j.foreco.2014.06.008.
- Reis, R.V., et al. (2011). Diversidade genética em seleção recorrente de maracujazeiro-amarelo detectada por marcadores microssatélites. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **46**: 51–57.
- Resende, M.D.V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 975f.
- Resende, M.D.V. (2015). *Genética quantitativa e de populações*. Viçosa, MG: Suprema, 2015.
- Resende, M.D.V. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, **16**: 330–339. doi: 10.1590/1984-70332016v16n4a49.
- Resende, M.D.V., Higa, A.R., Heller, J.B., Stein, P.P. (1992). Parâmetros genéticos e interação genótipo x ambiente em teste de procedência e progênies de acácia-negra (*Acacia mearnsii*). Embrapa Florestas-Capítulo em periódico indexado (ALICE), n. 24-25, 55–65.
- Rosado, A.M., Rosado, T.B., Alves, A.A., Laviola, B. G., Bhering, L.L. (2012). Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **47**: 966–973.
- Santos, W., et al. (2018). Genetic variation and effective population size in dipteryx alata progenies in pederneiras, São Paulo, Brazil. *Revista Árvore*, **42**: 1–8. doi: 10.1590/1806-90882018000300010.

- Sebbenn, A.M., Freitas, M.L.M., Zanatto, A.C.S., Moraes, E. (2009). Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental. *Revista do Instituto Florestal*, **21**: 27–37.
- Silva, K. de A., Martins, S.V., Miranda Neto, A. Demolinari, R. de A., Lopes, A.T. (2016). Restauração florestal de uma mina de bauxita: Avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. *Floresta e Ambiente*, **23**: 309–319.
- Siqueira, A.C.M.F., Nogueira, J.C.B., Kageyama, P.Y. (1993). Conservação dos recursos genéticos ex situ do cambaru (*Dipteryx alata*) Vog. – Leguminosae. *Revista Instituto Florestal*, **5**: 231–243.
- Souza, M.C.S., Piña-Rodrigues, F.C.M. (2013). Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. *Revista Árvore*, **37**: 89–98.
- Sturion, J.A., Stuepp, C.A., Wendling, I. (2017). Genetic parameters estimates and visual selection for leaves production in *Ilex paraguariensis*. *Bragantia*, **76**: 492–500. doi: 10.1590/1678-4499.2016.419.
- Tamaki, S., Isoda, K., Takahashi, M., Yamada, H., Yamashita, Y. (2018). Genetic structure and diversity in relation to the recently reduced population size of the rare conifer, *Pseudotsuga japonica*, endemic to Japan. *Conservation Genetics*, **19**: 1243–1255. doi: 10.1007/s10592-018-1092-5.
- Vinson, C.C., Kanashiro, M., Harris, S.A., Boshier, D.H. (2015). Impacts of selective logging on inbreeding and gene flow in two Amazonian timber species with contrasting ecological and reproductive characteristics. *Molecular ecology*, **24**: 38–53. doi: 10.1111/mec.13002.
- Wang, J.J., Weng, Y.H., Krasowski, M., Yan, G.H., Fullarton, M. (2018). Genetic parameters of growth and stem forking for black spruce progeny tested in New Brunswick, Canada. *New Forests*, **49**: 265–277. doi: 10.1007/s11056-017-9618-0.
- Willi, Y., Van Buskirk, J., Schmid, B., Fischer, M. (2007). Genetic isolation of fragmented populations is exacerbated by drift and selection. *Journal of evolutionary biology*, **20**: 534–542. doi: 10.1111/j.1420-9101.2006.01263.x.
- Zaruma, D.U.G., et al. (2015) Variabilidade genética em procedências e progênies de *Dipteryx alata* Vogel para fins de conservação genética e produção de sementes. *Scientia Forestalis*, **43**: 609–615.

Zucchi, M.I., et al. (2018). Genetic diversity of reintroduced tree populations in restoration plantations of the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration ecology*, **26**: 694–701. doi: 10.1111/rec.12620.

CAPÍTULO 2

PROPAGAÇÃO VEGETATIVA VIA ENXERTIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL

RESUMO

A propagação vegetativa via enxertia aliada à aplicação de estimulantes de florescimento tem sido amplamente utilizada em espécies perenes devido antecipar a fase reprodutiva dos indivíduos. Assim, o objetivo foi avaliar a eficiência da técnica de enxertia na propagação vegetativa de sete espécies arbóreas nativas do Brasil, visando à formação de pomar indoor e outdoor para futuros programas de hibridação. As mudas de *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla*, *Schinus terebinthifolius*, *Cariliana legalis*, *Poincianella pluviosa* e *Hymenaea courbaril* foram enxertadas em janeiro de 2018. Aos 50 e 90 dias pós-enxertia avaliou-se a sobrevivência, comprimento e circunferência das brotações e número de brotações por enxerto. Os dados foram submetidos às análises de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Diferenças significativas foram observadas para a sobrevivência dos enxertos das espécies, sendo significativamente maior para *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. terebinthifolius* e *S. macrophylla* com porcentagens superiores a 60%, enquanto que a sobrevivência dos enxertos de *C. legalis*, *P. pluviosa* e *H. courbaril* foram inferiores a 30%. O comprimento e circunferência das brotações foi significativamente maior nos enxertos de *C. legalis* e *S. macrophylla*, respectivamente. As espécies *S. terebinthifolius* e *C. legalis* tiveram maior quantidade de brotação por enxerto, diferindo significativamente das demais espécies. Os resultados indicam que os processos de adesão entre enxerto e porta-enxerto, formação de calos, estabelecimento de novo tecido vascular e formação de um sistema vascular funcional, foram bem sucedidos e que as diferenças presentes podem ser devido à constituição genética intrínseca a cada espécie. Assim, a propagação vegetativa das sete espécies arbóreas via enxertia é eficiente e, possui boas perspectivas para o resgate de genótipos selecionados para formação de pomares indoor e/ou outdoor.

Palavras-chave: Clonagem, melhoramento genético, propagação assexuada, resgate vegetativo

ABSTRACT

Vegetative propagation via grafting combined with the application of flowering stimulants has been widely used in perennial species because of the anticipation of the reproductive phase of individuals. Thus, the objective was to evaluate the efficiency of the grafting technique in the vegetative propagation of seven native tree species in Brazil, aiming at the formation of indoor and outdoor orchards for future hybridization programs of the species. *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla*, *Schinus terebinthifolius*, *Cariliana legalis*, *Poincianella pluviosa* and *Hymenaea courbaril* were grafted in January 2018. At 50 and 90 days post-grafting, the percentages of survival, length and circumference of shoots and number of shoots were evaluated. The data were submitted with analysis of variance (ANOVA) and as means compared by the Tukey test ($P \leq 0.05$). Significant differences were observed for the survival of the grafts of the species, being significantly higher for *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. terebinthifolius* and *S. macrophylla*. The length and circumference of the shoots were significantly higher in the grafts of *C. legalis* and *S. macrophylla*, respectively. The species *S. terebinthifolius* and *C. legalis* had a greater amount of sprouting per graft, differing significantly from the other species. The results indicate that the graft-rootstock adhesion processes, callus formation, establishment of new vascular tissue and formation of a functional vascular system were successful and that the present differences may be due to the genetic constitution intrinsic to each species. In general, the vegetative propagation of the seven tree species through grafting is efficient and, despite the differences in survival percentage and vegetative development, it has good prospects for the recovery of selected genotypes for the formation of indoor and/or outdoor orchards.

Keywords: Asexual propagation, cloning, genetic breeding, vegetative rescue

1. Introdução

Nos últimos anos, os recursos florestais envolvendo espécies arbóreas nativas do Brasil vêm sendo amplamente explorados, gerando divisas e riquezas para o país. Entretanto, ao longo desse período, poucos plantios foram conduzidos com espécies nativas, mesmo com o advento dos incentivos fiscais, cujos plantios foram direcionados para espécies exóticas de rápido crescimento, principalmente as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, enquanto as espécies florestais nativas continuaram sendo exploradas de forma não sustentável (Morais et al. 2012).

A utilização de espécies nativas em reflorestamento no Brasil tem tido uma série de dificuldades, tais como a falta de conhecimento sobre aspectos básicos de sua autoecologia, uso potencial, tecnologias de produção, manejo, escolha de métodos silviculturais adequados e genótipos mais produtivos (Stuepp et al. 2018).

O melhoramento genético de espécies perenes necessita de um longo período, devido envolver vários ciclos de seleção e recombinação, sendo necessário cerca de 18 anos, como relatado para espécies do gênero *Eucalyptus* (Pires et al. 2011). Nesse sentido, reduzir a rotatividade de geração é de extrema importância, uma vez que possibilita diminuir o ciclo de reprodução e, conseqüentemente, aumenta as chances de ganho genético por unidade de tempo (Almqvist, 2013).

Uma forma de antecipar a fase adulta dos indivíduos se dá pela propagação vegetativa, a qual vem sendo amplamente utilizada na silvicultura, apresentando bom desempenho no cenário florestal brasileiro, devido permitir a implantação de florestas com alta produtividade em áreas que antes eram consideradas inaptas, em virtude de limitações de material genético (Bandeira et al., 2006).

Diante dessa realidade e, dada à importância das espécies florestais nativas na produção de madeira e outros serviços ambientais, são necessários estudos com o objetivo de desenvolver métodos práticos de reprodução vegetativa, para estabelecer uma estratégia de conservação e reprodução de germoplasma de melhor qualidade. A enxertia tem sido o método de propagação vegetativa mais recomendado para espécies tropicais visando à produção antecipada da floração para uso em programas de melhoramento genético.

As técnicas de enxertia são formas de propagação vegetativa na qual se colocam em contato duas porções de tecido vegetal, em que uma delas é reprodutivamente madura, de tal maneira que se unam e posteriormente se desenvolvam, originando um novo indivíduo (Fachinello, 2005; Rouphael et al., 2010; Almqvist, 2013). Essa

modalidade de propagação vegetativa tem sido amplamente utilizada na formação de pomares clonais para a produção de sementes melhoradas, devido possibilitarem a ampliação da base genética após a seleção e recombinação entre matrizes selecionada nos programas de melhoramento (Assis, 1982; MoncuR; Hasan, 1994; Moraes et al. 2012).

As principais vantagens da técnica de propagação vegetativa pela enxertia são o florescimento precoce e copas com menores alturas, facilitando o trabalho de coleta de pólen, polinização e colheita de sementes (Rocha et al., 2002). Devido a essas vantagens, a técnica tem ampla utilização em várias culturas, tais como *Pinus eliotti* (Parker et al. 1998), *Arabidopsis thaliana* (Flaishman et al. 2008), *Plukenetia volubilis* (Cachique et al. 2018) e *Eucalyptus dunnii* (Moraes et al. 2012), sendo ainda incipiente para as espécies arbóreas nativas do Brasil.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do uso da enxertia na propagação vegetativa de sete espécies arbóreas nativas visando à formação de pomar indoor e outdoor para futuros programas de hibridação.

2. Material e métodos

2.1. Condições ambientais

A pesquisa foi desenvolvida no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, no período de janeiro a abril de 2018. O município de Viçosa (20°45' de latitude Sul e 42°51' de longitude Oeste) localiza-se na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, à altitude de 652 m. O clima é do tipo Cwb segundo Köppen, classificado como subtropical moderado úmido, com precipitação média anual de 1.185 mm e umidade relativa do ar em torno de 80%. A temperatura média anual é de 22,31°C, sendo a média das máximas de 28,2 °C e a das mínimas de 16,4 °C.

2.2. Material vegetal

Para a realização da enxertia, foram utilizados como porta-enxertos, mudas das espécies arbóreas nativas jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos), mogno brasileiro (*Swietenia*

macrophylla King.), aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), jequitibá rosa (*Cariniana legalis* Mart. O. Ktze), sibipiruna (*Poincianela pluviosa* (DC.) L. P. Queiros) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). As mudas foram produzidas em sacos de polietileno, adubadas com 40 g de Polyblen e regadas a cada dois dias durante os quatro meses que antecederam a enxertia, sendo esta realizada aproximadamente um ano após a semeadura. No momento da enxertia, as mudas tinham, aproximadamente, 54 cm de altura e 5 cm de circunferência do coleto.

O material enxertado foi obtido do terço superior de árvores em plena fase reprodutiva, selecionadas com base no vigor e estado fitossanitário, localizadas em propriedades rurais de Viçosa-MG. Da matriz de cada espécie retirou-se 40 enxertos, os quais foram envolvidos em papel umedecido e alumínio para evitar a perda excessiva da turgescência da estaca. Após a coleta, o material vegetal foi transportado em caixa isopor com gelo em gel, até o Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, para o procedimento da enxertia (Figura 1).

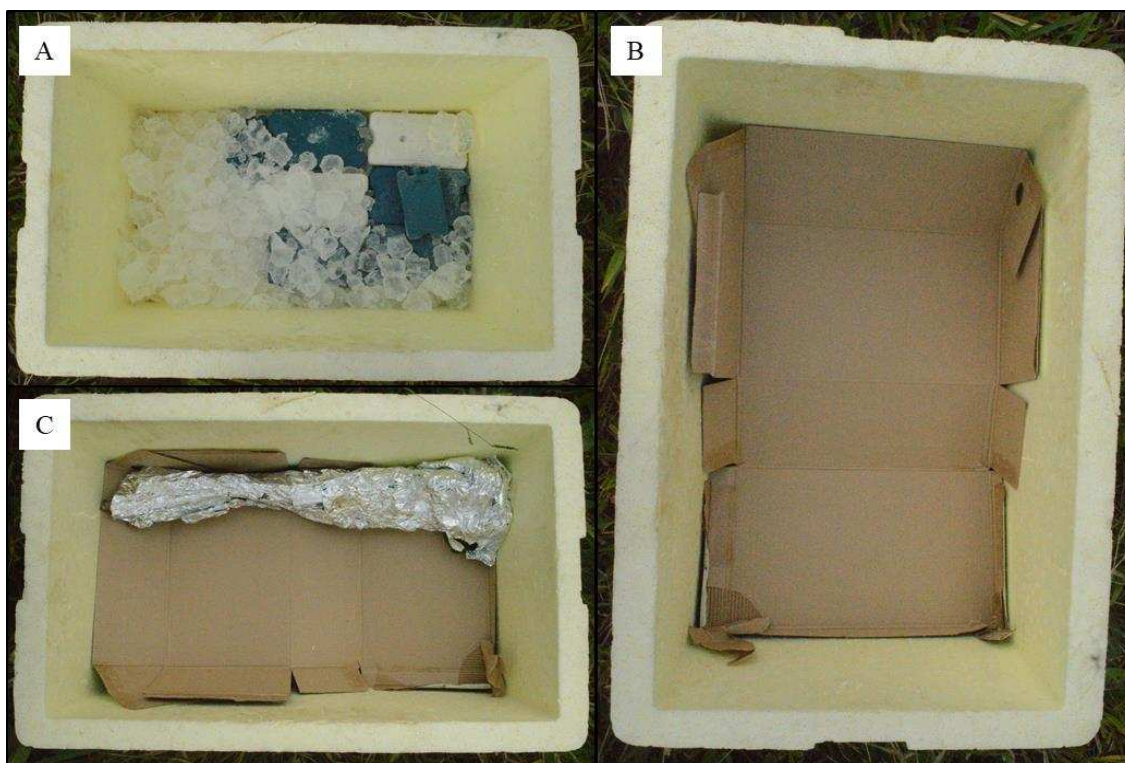


Figura 1. Coleta e armazenamento de material vegetativo de sete espécies florestais nativas. Isopor com gelo em gel (A), gelo recoberto com papelão (B) e estacas coletadas e envolvidas em papel alumínio para o transporte até o viveiro (C). Fonte: Autor.

O método de enxertia utilizado foi o de garfagem em fenda cheia, em que o porta-enxerto foi cortado de modo a eliminar o seu ponteiro, deixando dois ramos laterais, a fim de manter a atividade fotossintética da planta até que houvesse a união dos tecidos do porta-enxerto e do enxerto. Em seguida, um corte longitudinal de aproximadamente 3 cm foi realizado, aonde foi introduzido o enxerto contendo pelo menos duas gemas. O enxerto foi preparado em formato de cunha (Figura 2A), e após conectado ao porta-enxerto (2B), foi amarrado com fitilho plástico (Parafilm) para evitar a perda de umidade do material e veda-rosca para reforçar a junção da camada cambial (Figura 2C). Após a enxertia, as mudas foram mantidas em casa de vegetação com telado lateral para melhor aeração. O controle de rebrota do porta-enxerto foi realizado pelo menos uma vez por semana, de maneira a deixa-los sem competir com os enxertos.

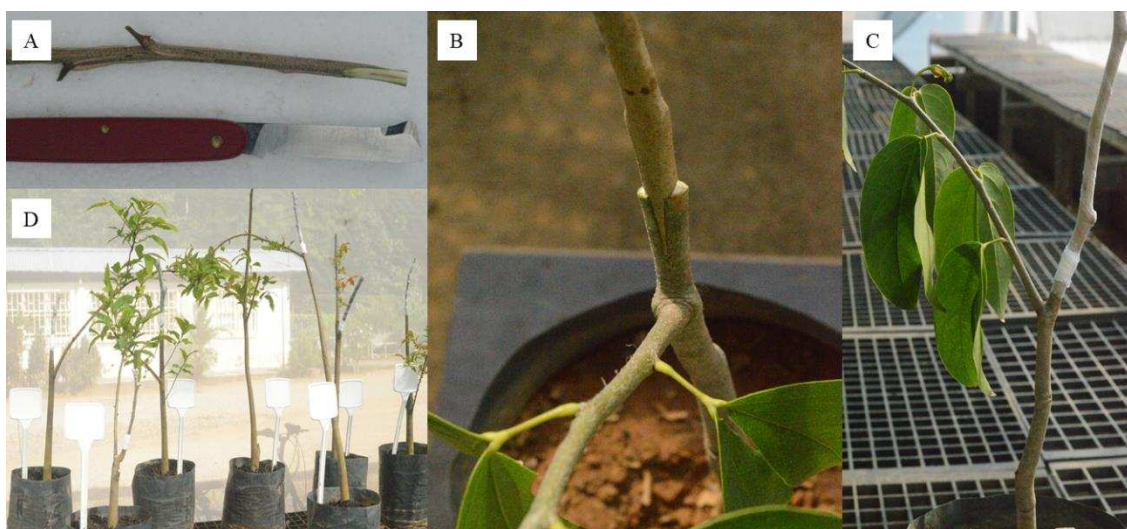


Figura 2. Demonstração do processo de enxertia em fenda cheia. Estaca cortada em formato de cunha (A), corte longitudinal no porta-enxerto e inserção do enxerto (B), enxerto coberto com parafilm e veda-rosca (C), e mudas acondicionadas em casa de vegetação com telado (D) no Viveiro de Pesquisas da Universidade Federal de Viçosa, MG. Fonte: Autor.

2.3. Coleta e análise dos dados

O experimento foi instalado em Delineamento Inteiramente Casualizado com 40 repetições (enxertos) por espécie, somando 280 enxertias as quais foram realizadas por um único enxertador experiente.

As medidas foram realizadas aos 50 e 90 dias pós-enxertia, sendo as avaliações constituídas pela porcentagem de sobrevivência (%), comprimento e circunferência das brotações (cm) e número de brotações por enxerto.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância (ANOVA) seguido de comparação múltipla de médias pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$) no programa computacional Genes (Cruz, 2013).

3. Resultados

A sobrevivência dos enxertos aos 50 e 90 dias pós-enxertia variou entre 7,5% (*H. courbaril*) e 82,5% (*J. mimosifolia*), com diferença significativa ($P < 0,05$) para os enxertos das espécies *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. terebinthifolius* e *S. macrophylla* em relação aos enxertos de *C. legalis*, *P. pluviosa* e *H. courbaril*, os quais tiveram sobrevivência superior a 65% (Figura 3). Observa-se que não houve mortalidade de enxertos de uma avaliação para a outra.

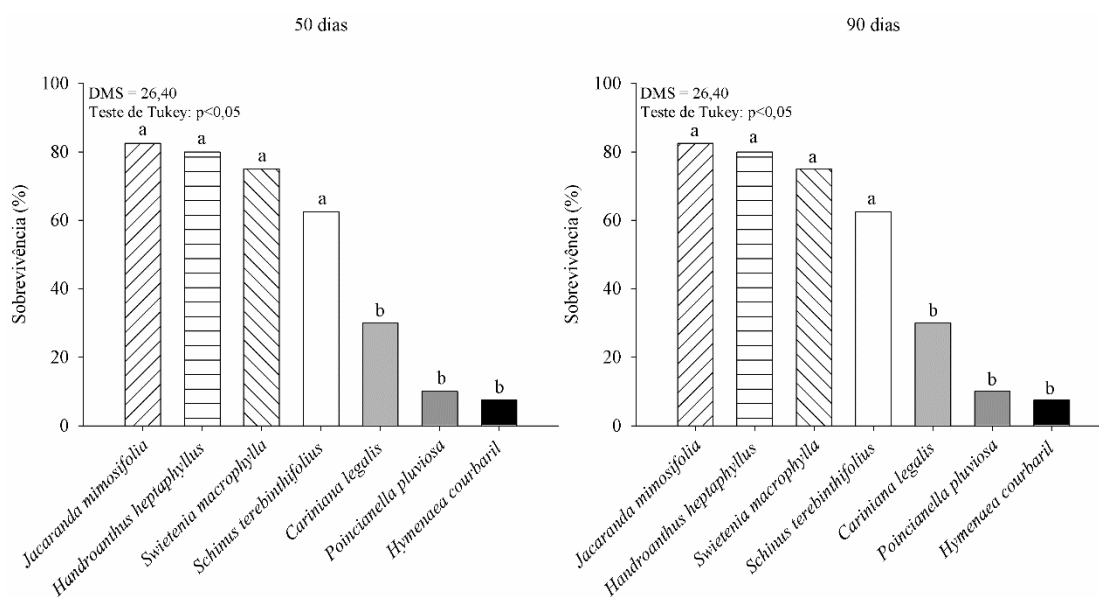


Figura 3. Porcentagem de sobrevivência de enxertos de sete espécies florestais nativas aos 50 e 90 dias após a enxertia. Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento das brotações aos 50 dias pós-enxertia variou entre 4,48 cm (*P. pluviosa*) e 28,92 cm (*C. legalis*), com diferença significativa para os enxertos de *C. legalis* (Figura 4 - A). Aos 90 dias pós-enxertia, o comprimento das brotações variou entre 6,42 cm (*P. pluviosa*) e 42,72 cm (*C. legalis*) com superioridade significativa para os enxertos de *C. legalis* (Figura 4 - B).

A circunferência das brotações dos enxertos variou entre 0,14 cm (*P. pluviosa*) e 0,70 (*S. macrophylla*) aos 50 dias pós-enxertia (Figura 4 - C) e entre 0,23 cm (*P. pluviosa*) e 0,82 (*S. macrophylla*) aos 90 dias pós-enxertia (Figura 4 - D), com circunferência significativamente maior para os enxertos de *S. macrophylla*.

A quantidade de brotações dos enxertos variou entre espécies aos 50 (Figura 4 - E) e 90 (Figura 4 - F) dias pós-enxertia, sendo significativamente maior para as espécies *S. terebinthifolius* e *C. legalis*.

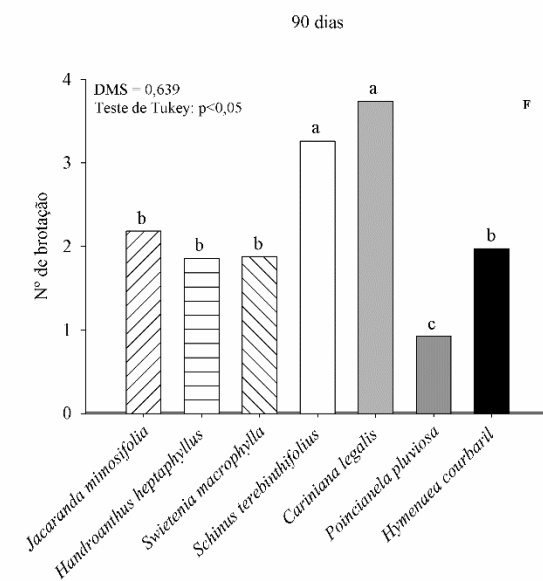
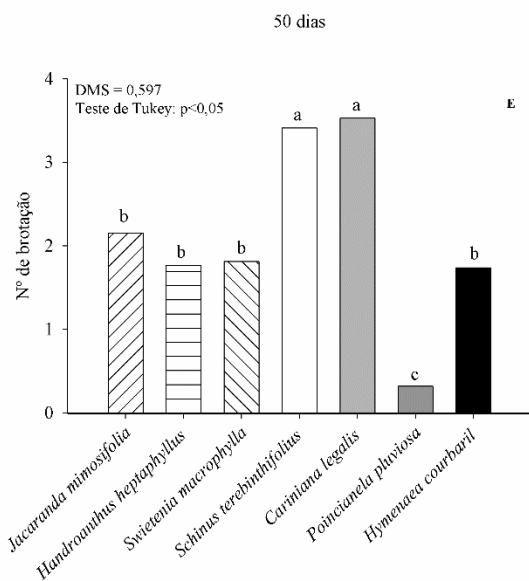
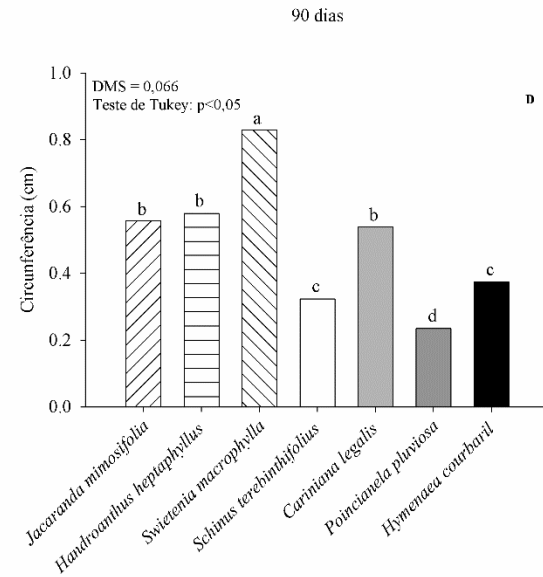
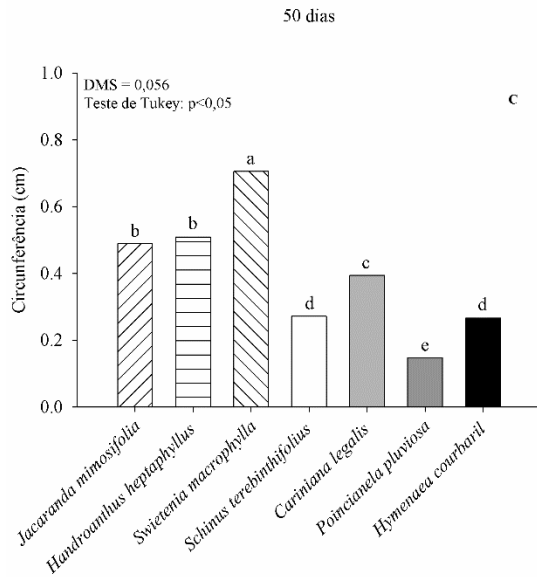
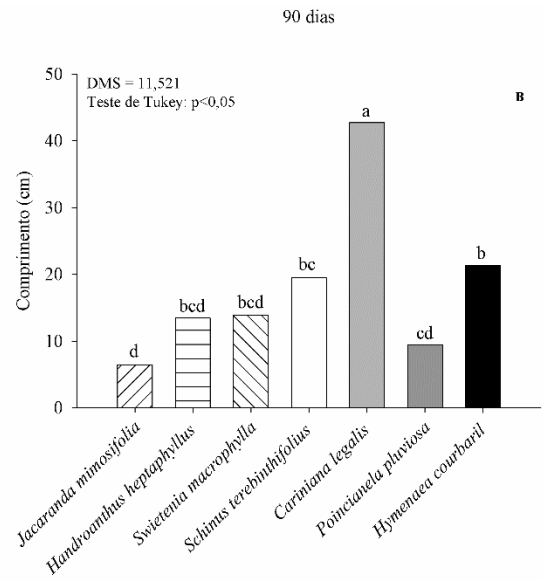
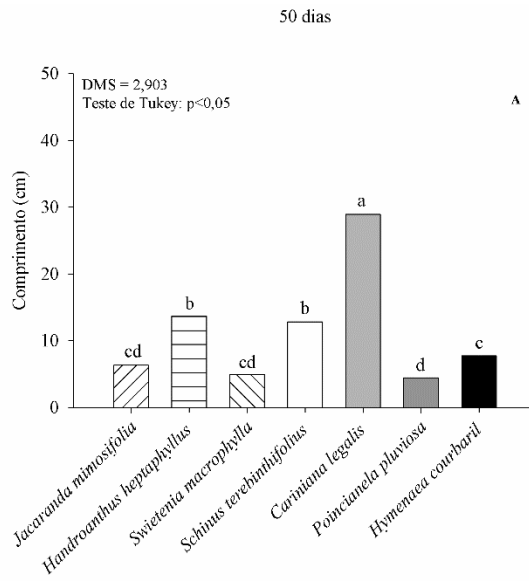


Figura 4. Médias de comprimento das brotações aos 50 (A) e 90 (B) dias pós-enxertia; médias de circunferência das brotações aos 50 (C) e 90 (D) dias pós-enxertia; e número médio de brotações dos enxertos aos 50 (E) e 90 (F) dias pós-enxertia. Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere à incidência de pragas, verificou-se que somente três espécies foram susceptíveis, com porcentagens superiores a 15% (Figura 5). As espécies mais atingidas foram *H. heptaphyllus* e *J. mimosifolia*, diferindo significativamente das demais. As pragas mais comuns foram formigas, - em *H. heptaphyllus* - pulgões e cochonilhas - em *J. mimosifolia* e *C. legalis* - que lhes conferiram um aspecto necrótico e acúmulo de fumagina nas folhas, sendo portanto, rapidamente realizado o controle para evitar danos aos enxertos. Nesse sentido, não foram observados aos 90 dias.

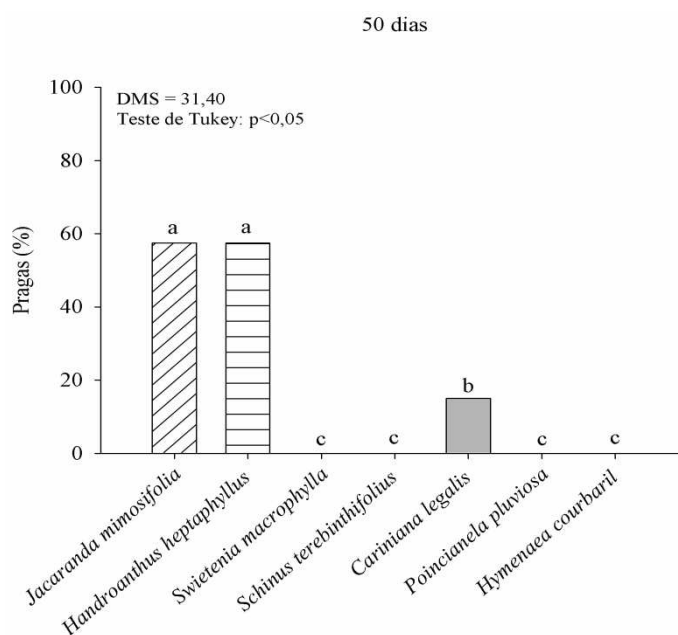


Figura 5. Porcentagem de ocorrência de insetos em enxertos de sete espécies florestais nativas aos 50 dias após a enxertia.

4. Discussão

O sucesso na sobrevivência dos enxertos, especialmente das espécies *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. terebinthifolius* e *S. macrophylla* indica que a técnica de propagação vegetativa por enxertia foi promissora, e que os processos de adesão entre enxerto e porta-enxerto, formação de calos, estabelecimento de novo tecido vascular e formação de um sistema vascular funcional, necessários para o bom desempenho da futura planta, foram bem sucedidos (Pina et al. 2012; Cachique et al. 2018).

A sobrevivência observada na presente pesquisa está de acordo com o relatado para enxertos de *Ilex paraguariensis* (>57,8%) (Wendling et al. 2009; Santin et al. 2015), *Araucaria angustifolia* (69%) (Wendling et al. 2016) e *Swietenia macrophylla* (Barbosa Filho et al. 2016), nativas do Brasil, e espécies exóticas, como *Pinus elliotti* var. *elliotti* (72,6%) (Perez et al. 2007), *Eucalyptus dunni* (74%) e híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (62%) (Moraes et al. 2012).

A menor porcentagem de sobrevivência observada na enxertia das espécies *C. legalis*, *P. pluviosa* e *H. courbaril* ocorreu, possivelmente, devido à incompatibilidade anatômica entre enxerto e porta-enxerto, impedindo a formação do parênquima e a não conexão entre os vasos condutores (Flaishman et al. 2008), o que pode prejudicar o fluxo normal de água, nutrientes, fotoassimilados e lignificação entre tecidos (Martínez-Ballesta et al. 2010; Almqvist, 2013; Souza et al. 2018; Nanda; Melnyk, 2018). Outra possível explicação seria referente ao método de enxertia, devido cada espécie possuir características morfofisiológicas distintas, com respostas diversas (Xavier et al. 2009; Leite et al. 2013; Gaspar et al. 2017). Além disso, a enxertia foi realizada no verão, período no qual as plantas tendem a direcionar suas reservas energéticas para o crescimento vegetativo e não para formação de novos tecidos (Zanette et al. 2011; Cassol et al. 2017). Assim, estudos futuros são necessários para examinar o efeito de diferentes estações e técnicas de enxertia visando obter maiores porcentagens de sobrevivência dessas espécies.

As diferenças no comprimento das brotações dos enxertos nas espécies são associadas a fatores genéticos e ambientais, os quais influenciam na capacidade de crescimento vegetativo do indivíduo e permitem a seleção de clones específicos (Franzon et al. 2010; Cassol et al. 2017), ou ainda ao método de enxertia utilizado (Fernades et al. 2008; Miao et al. 2019) e quantidade de auxinas endógenas presente na planta (Berleth; Sachs, 2001). Variações no comprimento das brotações também foram

comuns em *Araucaria angustifolia*, as quais oscilaram de 1,1 a 20,0 cm aos 180 dias após a enxertia (Constantino; Zanette, 2018), já para a espécie *S. terebinthifolius* os comprimentos variaram de 0,5 a 3,5 cm aos 45 dias pós-enxertia, sendo muito influência pela época e método de enxertia (Fernandes et al. 2008).

A circunferência das brotações possivelmente foi influenciada por fatores genéticos, intrínsecos a cada espécie, ou ainda, a idade dos propágulos vegetativos, como observado em *Pinus elliottii* (Parker et al.1998). No entanto, os efeitos da idade cronológica dos enxertos não foram examinados nesse estudo e, portanto, servem apenas como hipótese.

As condições fisiológicas, idade do porta-enxerto e enxerto e a técnica de propagação vegetativa utilizada são fatores preponderantes para o vigor dos enxertos e, conseqüentemente, produção de brotações (Parker et al. 1998; Gaspar et al. 2017). Em *S. terebinthifolius*, utilizando a técnica de enxertia em fenda cheia em diferentes épocas do ano, foi observado que os enxertos emitiram entre 2 e 3 brotações, semelhantes aos resultados da presente pesquisa (Fernandes et al. 2008), o que indica que os resultados podem ser considerados adequados e, que a propagação vegetativa via enxertia é promissora para a espécie, dando novos rumos ao processo de propagação vegetativa, conservação e melhoramento genético dessas espécies.

A progação vegetativa dessas espécies contribuirá para o avanço em pesquisas de conservação e melhoramento genético, devido possibilitarem a combinação entre indivíduos divergentes, os quais podem proporcionar sementes com maior variabilidade genética para os plantios comerciais de restauração florestal. Segundo Vencovsky (1986) para que haja sucesso em programas de conservação genética são necessários altos níveis de variabilidade genética, as quais dependem da coleta de sementes no máximo de matrizes possíveis, o que acaba sendo muito oneroso. Nesse sentido, ao manter genótipos superiores em pomares de cruzamentos em vasos, os trabalhos de coleta de sementes serão facilitados e as sementes melhoradas poderão compor novos bancos de conservação (Fajardo et al. 2018).

A presença de formigas possivelmente se deu devido a abundante produção de nectário extrafloral observado na parte abaxial das folhas de *H. heptaphyllus*. Essa é uma estratégia que algumas espécies vegetais utilizam, especialmente na fase adulta quando os vasos já estão bem desenvolvidos, como forma de manter uma relação mutualística com formigas, lhes oferecendo néctar e tendo como recompensa a proteção contra agentes herbívoros (Villamil et al. 2013; Nogueira et al. 2015). Pulgões e

cochonilhas são comuns em casa de vegetação devido ao ambiente propício para seu desenvolvimento e podem causar manchas necróticas e aparecimento de fumagina nas folhas, como relatado em *Eucalyptus urophylla* (Vieira et al. 2016) e verificado na presente pesquisa. A excreção do excesso de líquido – rico em açúcar – sugado pelo inseto é o principal responsável pelo aparecimento da fumagina que por sua vez pode recobrir a folha afetando a taxa de fotossíntese do vegetal. Nesse sentido, faz-se necessário o controle ainda nos primeiros dias de aparecimento dos insetos para evitar possíveis danos ao pomar.

5. Conclusões

A propagação vegetativa das sete espécies arbóreas nativas via enxertia é viável, permitindo a formação de pomares indoor e outdoor. Assim, um protocolo foi desenvolvido e pode auxiliar no resgate de genótipos selecionados em futuros programas de conservação e melhoramento genético dessas espécies;

Os enxertos de *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla* e *Schinus terebinthifolius* possuem maior sobrevivência que os enxertos de *Cariniana legalis*, *Poincianella pluviosa* e *Hymenaea courbaril* e, portanto, maior aptidão para a enxertia via garfagem em fenda simples;

As sete espécies quando propagadas vegetativamente via enxertia possuem desenvolvimento satisfatório e boa produção de brotações, que se traduz em maior vigor dos enxertos.

A técnica de enxertia aplicada às espécies florestais nativas deve contribuir para futuros programas de conservação e melhoramento genético envolvendo espécies nativas, permitindo a melhor conservação de alelos com diversidade genética adequada e a custos compatíveis, a partir do florescimento e frutificação precoces e a presença de flores em baixa altura da planta.

6. Referências

Almqvist, C. (2013). Interstock effects on topgraft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. *Canadian journal of forest research*, **43**: 584–588. doi: 10.1139/cjfr-2012-0507.

- Assis, T. F. (1982). Enxertia de *Eucalyptus* spp. *Silvicultura*, São Paulo, v. 7, n. 23, p. 45, 1982.
- Bandeira, F.S., Xavier, A., Otoni, W.C., Dias, J.M.M. (2006). Enxertia in vitro na propagação de clones de *Eucalyptus urophylla* e *E. grandis*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **41**: 223–232.
- Barbosa Filho, J., et al. (2016). Propagation of *Khaya anthotheca*: interspecific grafting with *Swietenia macrophylla* and air layering. *Cerne*, **22**: 475–484. doi: 10.1590/01047760201622042232.
- Berleth, T., Sachs, T. (2001). Plant morphogenesis: long-distance coordination and local patterning. *Current Opinion in Plant Biology*, **4**: 57–62. doi: 10.1016/S1369-5266(00)00136-9.
- Cachique, D.H., Solsol, H.R., Sanchez, M.A.G., López, L.A.A., Kodahl, N. (2018). Vegetative propagation of the underutilized oilseed crop sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, **65**: 2027–2036. doi: 10.1007/s10722-018-0659-9.
- Cassol, D.A., et al. (2017). Grafting technique and rootstock species for the propagation of *Plinia cauliflora*. *Ciência Rural*, **47**: 1–6. doi: 10.1590/0103-8478cr20140452
- Constantino, V., Zanette, F. (2018). Enxertia de propágulos trunciformes nos ramos de *Araucaria angustifolia* e multiplicação de matrizes. *Ciência Florestal*, **28**: 845–846. doi: 10.5902/1980509832103.
- Cruz, C.D. (2013). Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy* **35**: 271–276. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.
- Fachinello, J.C. (2005). Propagação de plantas frutíferas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 221f.
- Fajardo, C.G., Costa, D.F.D., Chagas, K.P.T.D., Vieira, F.D.A. (2018). Genetic diversity in natural populations of *Hancornia speciosa* Gomes: Implications for conservation of genetic resources. *Ciência e Agrotecnologia*, **42**: 623–630. doi: 10.1590/1413-70542018426019018.
- Fernandes, K.H.P., Mori, E.S., Silva, M.R., Pinto, C. da S. (2008). Propagação vegetativa de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Revista Brasileira de Fruticultura*, **30**: 853–856. doi: 10.1590/S0100-29452008000300052

- Flaishman, M.A., Loginovsky, K., Golobowich, S., Lev-Yadun, S. (2008). *Arabidopsis thaliana* as a model system for graft union development in homografts and heterografts. *Journal of plant growth regulation*, **27**: 231–239. doi: 10.1007/s00344-008-9050-y.
- Franzon, R.C., Gonçalves, D.S., Antunes, L.E.C., Raseira, B.M.C. (2010). Propagação vegetativa de genótipos de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) do sul do Brasil por enxertia de garfagem. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **32**: 262–267.
- Gaspar, R.G.B., Wendling, I., Stuepp, C.A., Angelo, A.C. (2017). Rootstock age and growth habit influence top grafting in *Araucaria angustifolia*. *Cerne*, **23**: 465–471. doi: 10.1590/01047760201723042447.
- Leite, A.G., Mendonça, V., Mendonça, L.F. de M., Dantas, L.L. de G.R., Cunha, P.S. de C.F. (2013). Portaenxertos e métodos de enxertia na produção de mudas de Atemoieira (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.). *Semina: Ciências Agrárias*, **34**: 2117–2127. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2117.
- Martínez-Ballesta, M.C; Alcaraz-López, C; Muries, B; Mota-Cadenas, C; Carvajal, C. (2010). Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Scientia Horticulturae*, **127**: 112–118. doi: 10.1016/j.scienta.2010.08.002.
- Miao, L., Shuzhen, L., Bai, L., Anwar, A., Li, Y. He, C., Yu, X. (2019). Effect of grafting methods on physiological change of graft union formation in cucumber grafted onto bottle gourd rootstock. *Scientia Horticulturae*, **244**: 249–256. doi: 10.1016/j.scienta.2018.09.061.
- Moncur, M.W., Hasan, O. (1994) Floral induction in *Eucalyptus nitens*. *Tree Physiology*, **14**: 1303–1312.
- Moraes, C.B., et al. (2012) Técnicas de enxertia: método modificado de enxertia em *Eucalyptus*. *Série Técnica IPEF*, **16**: 25–27.
- Morais, W.W.C., Susin, F., Vivian, M.A., Araújo, M.M. (2012). Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, **32**: 23–28. doi: 10.4336/2012.pfb.32.69.23.
- Nanda, A.K., Melnyk, C.W. (2018). The role of plant hormones during grafting. *Journal of plant research*, **131**: 49–58. doi: 10.1007/s10265-017-0994-5.
- Nogueira, A., Rey, P.J., Alcántara, J.M., Feitosa, R.M., Lohmann, L.G. (2015). Geographic mosaic of plant evolution: extrafloral nectary variation mediated by ant and herbivore assemblages. *PloS one*, **10**: 1–24. doi: 10.1371/journal.pone.0123806.

- Parker, S.R., White, T.L., Hodge, G.R., Powell, G.L. (1998). The effects of scion maturation on growth and reproduction of grafted slash pine. *New forests*, **15**: 243–259.
- Perez, A.M.M., White, T.L., Huber, D.A., Martin, T.A. (2007). Graft survival and promotion of female and male strobili by topgrafting in a third-cycle slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) breeding program. *Canadian journal of forest research*, **37**: 1244–1252. doi: 10.1139/X07-004.
- Pina, A., Errea, P., Martens, H.J. (2012). Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Scientia Horticulturae*, **143**: 144–150. doi: 10.1016/j.scienta.2012.06.017.
- Pires, I.E., Resende, M.D.V., Silva, R.L., Resende Junior, M.F.R. (2011). *Genética Florestal*, Ed. 1, Viçosa, Minas Gerais, Editora Arka, 319 p.
- Rocha, M.G.B., et al. (2002). Propagação vegetativa de espécies arbóreas nativas. In: ROCHA, M. G. B. *Melhoramento de espécies arbóreas nativas*. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, Diretoria de Desenvolvimento Florestal Sustentável, p. 91–108.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., Colla, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, **127**: 172–179. doi: 10.1016/j.scienta.2010.09.001.
- Santin, D., Wendling, I., Benedetti, E.L., Morandi, D. (2015). Nursery and field serial grafting of *Ilex paraguariensis*. *Embrapa Florestas-Capítulo em periódico indexado (ALICE)*, **35**:409–418. doi: 10.4336/2015.pfb.35.84.903.
- Souza, L.S., Diniz, R.P., Neves, R. de J., Alves, A.A.C., Oliveira, E.J. (2018). Grafting as a strategy to increase flowering of cassava. *Scientia Horticulturae*, **240**: 544–551. doi: 10.1016/j.scienta.2018.06.070.
- Stuepp, C.A., Wendling, I., Xavier, A., Zuffellato-Ribas, K.C. (2018). Vegetative propagation and application of clonal forestry in Brazilian native tree species. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **53**: 985–1002. doi: 10.1590/S0100-204X2018000900002.
- Vencovsky, R. (1986). Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. *Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos-Boletim de pesquisa e Desenvolvimento*, **1**: 1–16.

- Vieira, E.R.D., Soares, M.A., Silva, E.D.B., Assis Júnior, S.L., Barroso, G.A. (2016). First record of *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) in *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Arquivos do Instituto Biológico*, **83**: 1–2. doi: 10.1590/1808-1657000382015.
- Villamil, N., Márquez-Guzmán, J., Boege, K. (2013). Understanding ontogenetic trajectories of indirect defence: ecological and anatomical constraints in the production of extrafloral nectaries. *Annals of Botany*, **112**: 701–709. doi: 10.1093/aob/mct005.
- Wendling, I., Lavoranti, O.J., Resende, M.D.V., Hoffmann, H. (2009). Seleção de matrizes e tipo de propágulo na enxertia de substituição de copa em *Ilex paraguariensis*. *Revista Árvore*, **33**: 811–819.
- Wendling, I., Stuepp, C.A., Zuffellato-Ribas, K.C. (2016). *Araucaria angustifolia* grafting: techniques, environments and origin of propagation material. *Bosque*, **37**: 285–293. doi: 10.4067/S0717-92002016000200007.
- Xavier, A., Wendling, I., Silva, R.L. (2009). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas*. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV. 272p.
- Zanette, F., Oliveira, L. da S., Biasi, L.A. (2011). Grafting of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze through the four seasons of the year. *Revista brasileira de fruticultura*, **33**: 1364–1370. doi: 10.1590/S0100-29452011000400040.

CAPÍTULO 3

EFEITO DA APLICAÇÃO DO PACLOBUTRAZOL E DO CULTIVO EM AMBIENTE INDOOR E OUTDOOR DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BRASIL

RESUMO

Os pomares de cruzamentos em vasos e a aplicação de estimulantes de florescimento são importantes ferramentas em programas de melhoramento genético, porém pouco utilizados em espécies arbóreas nativas do Brasil. O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em ambiente indoor e outdoor de mudas de espécies arbóreas nativas do Brasil enxertadas e tratadas com paclobutrazol (PBZ). Mudas de *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla*, *Schinus terebinthifolius*, *Cariniana legalis* e *Hymenaea courbaril* enxertadas e tratadas com PBZ foram cultivadas em ambiente indoor e outdoor e, após 50 e 90 foram avaliadas para o comprimento e circunferência das brotações, número de brotações e quantidade de flores e frutos por enxerto. Os dados foram submetidos às análises de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). O ambiente indoor proporcionou maior comprimento de brotação nos enxertos de *S. terebinthifolius* e *S. macrophylla*, e circunferência de brotação nos enxertos de *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. macrophylla*, *S. terebinthifolius* e *Hymenaea courbaril*. Os enxertos de *S. terebinthifolius* e *C. legalis* produziram maior quantidade de brotações quando cultivados indoor, enquanto que para os enxertos das demais espécies não foram observadas diferenças significativas entre os locais de cultivo. As espécies *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius* responderam positivamente a indução do florescimento, com diferenças significativas para o número de flores e frutos quando cultivadas indoor ou outdoor. Nesse sentido, as técnicas utilizadas são eficientes na propagação dessas espécies e sugerem boas perspectivas para o avanço em pesquisa de conservação e melhoramento genético devido anteciparem as fases reprodutivas, especialmente de *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius*.

Palavras-chave: Florescimento precoce, melhoramento genético, polinização controlada, pomar de sementes.

ABSTRACT

Orchard crosses and the application of flowering stimulants are important tools in breeding programs, but little used in native tree species in Brazil. The objective of this study was to evaluate the vegetative and reproductive development in indoor and outdoor environments of native tree species from Brazil grafted and treated with paclobutrazol (PBZ). Seedlings of *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla*, *Schinus terebinthifolius*, *Cariniana legalis* and *Hymenaea courbaril* grafted and treated with PBZ were cultivated in indoor and outdoor environments and, after 50 and 90 days were evaluated for the length and circumference of the shoots, number of shoots and quantity of flowers and fruits per graft. Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and means were compared by the Tukey test ($p < 0.05$). O ambiente interno proporcionou maior comprimento de brotação nos enxertos de *S. terebinthifolius* e *S. macrophylla*, e circunferência de brotação nos enxertos de *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. macrophylla*, *S. terebinthifolius* e *Hymenaea courbaril*. Grafts of *S. terebinthifolius* and *C. legalis* produced more shoots when cultivated indoor, while for grafts of the other species no significant differences were observed between the cultivation sites. The species *J. mimosifolia* and *S. terebinthifolius* responded positively to the induction of flowering, with significant differences for the number of flowers and fruits when grown indoor or outdoor. In this sense, the techniques used are efficient in the propagation of these species and suggest good perspectives for the advancement in conservation research and genetic improvement.

Keywords: Early flowering, controlled pollination, genetical breeding, seed orchard.

1. Introdução

Os pomares representam importante ferramenta para os programas de melhoramento genético, pois possibilitam a combinação de genótipos divergentes e superiores que lhes conferem um maior efeito heterótico, melhorando assim, a produção de sementes para os futuros plantios (Horsley et al. 2010). Porém, em pomares de sementes por mudas (PSM) existem perdas em produtividade (Moram; Bell 1983), ocasionada, em muitos casos, pela endogamia, resultado de cruzamentos aleatórios e/ou autofecundação (Potts et al. 1987), além da alta contaminação de fontes externas de pólen, particularmente quando estabelecidos perto de outras florestas (Potts et al. 2008). Por essas razões, torna-se essencial a formação de pomares de polinização controlada, especialmente para as espécies florestais nativas, cujos programas de melhoramento genético ainda são incipientes, limitando-se, na maioria das vezes, a Área de Coleta de Sementes (ACS) e Áreas de Produção de Sementes (APS).

A hibridação tem sido a forma mais rápida e eficiente de obtenção de ganhos genéticos no melhoramento de espécies de florestais (Hamzah et al. 2002; Assis et al. 2005; Dickinson et al. 2010; Randall et al. 2015), com ampla utilização em espécies de *Eucalyptus* (Harbard et al. 1999; Assis et al. 2005; Horsley et al. 2010), *Corymbia* (Dickinson et al. 2010) e *Hevea brasiliensis* (Hamzah et al. 2002), o que tem refletido diretamente no aumento em produtividade na indústria de base florestal (Assis; Mafia 2007).

O desenvolvimento de pomares de cruzamentos em vasos, indoor ou outdoor, e o desenvolvimento de técnicas mais acuradas de polinização eliminou a necessidade de realizar o isolamento de flores individuais, possibilitando o isolamento de plantas inteiras (Assis et al., 2005), além de diminuir os riscos de contaminação de pólen, facilitar o manejo de doenças e pragas e antecipar as fases reprodutivas, o que representa diminuição do tempo entre as gerações de melhoramento (Silva et al. 2012). O uso dessa tecnologia tem permitido a realização de cruzamentos controlados em grande escala, tornando possível, inclusive, a multiplicação de famílias de irmãos completos de alta superioridade, tarefa antes considerada técnica e economicamente inviável (Silva et al. 2012). Porém, alguns aspectos devem ser considerados no planejamento dos pomares indoor e outdoor, tais como: (1) a seleção dos genitores, (2) a forma de propagação vegetativa das matrizes, (3) os métodos de indução de florescimento, (4) o manejo do pólen (coleta, beneficiamento, armazenamento e viabilidade) e, finalmente, (5) a polinização (Silva et al. 2012).

A indução de florescimento precoce com o auxílio das técnicas de enxertia e aplicação de reguladores de crescimento tem sido comumente relatada para várias culturas (Martínez-Fuentes et al. 2013; Gardner et al. 2016; Zhang et al. 2016; Soumya et al. 2017; Bindu et al. 2018). O Paclobutrazol (PBZ) [(2RS, 3RS)-1-(4-clorofenil)-4, 4-dimetil-2-(1H-, 2, 4-triazol-1-il)-pentan-3-ol] é um dos membros da família triazol que possui propriedade reguladora do crescimento (Soumya et al. 2017), tem sido o mais indicado para fornecer os benefícios do crescimento reduzido (Hasan; Reid 1995), florescimento aumentado (Gardner et al. 2016) e tempos de geração reduzidos (Hasan; Reid 1995; Wei et al. 2018), graças a inibição da síntese de giberelinas, hormônio ligado ao crescimento (Kishore et al., 2015). Outros efeitos diretos da aplicação do PBZ em espécies vegetais são relatados na literatura, como por exemplo, mudas de Mangifera indica tratadas com PBZ produziram maior quantidade de ácido fenólico e ácido ascórbico do que as mudas não tratadas (Srilatha et al. 2016; Bindu et al. 2018), sendo importantes na indução de floração (Barth et al. 2006; Srilatha et al. 2016).

O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em ambiente indoor e outdoor de mudas de espécies arbóreas nativas do Brasil enxertadas e tratadas com paclobutrazol (PBZ) para formação de pomar de polinização controlada.

2. Material e métodos

2.1. Condições ambientais

O experimento foi conduzido no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, no período de junho a setembro de 2018. O município de Viçosa localiza-se na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, à altitude de 652 m, situando-se nas coordenadas de 20°45' de latitude Sul e 42°51' de longitude Oeste. O clima é do tipo Cwb segundo Köppen, classificado como subtropical moderado úmido, com precipitação média anual de 1.341 mm e umidade relativa do ar em torno de 80%. A temperatura média anual é de 22,31 °C, sendo a média das máximas de 28,2 °C e a das mínimas de 16,4 °C.

2.2. Material vegetal

As mudas de jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Vell. Mattos), mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), jequitibá rosa (*Cariniana legalis* Mart. O. Ktze) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) foram tratadas com paclobutrazol (PBZ), aplicando-se em cada muda 2,0 ml de PBZ diluídos em 250 ml de água. Aos cinco dias pós-aplicação, as mudas produzidas em sacolas de 5 L foram passadas para vasos de 20 L, com o intuito de criar um meio bifásico, de modo a evitar toxidez das plantas. Cada vaso recebeu 40 g de adubo de liberação lenta (Polyblen), na concentração 21-00-21, visando manter níveis adequados de nutrição das plantas. Em seguida, as mudas enxertadas foram cultivadas em casa de vegetação (indoor) e ao ar livre (outdoor) para avaliação de seu desenvolvimento e das interações entre ambientes.

2.3. Análise dos dados

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado contendo dois tratamentos (indoor e outdoor). Cada tratamento teve 10, 9, 8, 4, 5 e 2 repetições, para as espécies *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. macrophylla*, *S. terebinthifolius*, *C. H. courbaril*, respectivamente.

Todas as medidas foram realizadas aos 50 e 90 dias após disposição das mudas nos dois ambientes, sendo as variáveis respostas constituídas pelo desenvolvimento vegetativo (comprimento e circunferência das brotações (cm), número de brotações por enxerto), e reprodutivo (número de flores e frutos por enxerto). Para a determinação das temperaturas máximas, mínimas e média e umidade relativa do ar nos dois ambientes foi determinado com o auxílio de termômetros os quais foram retirados os dados diariamente. Os dados de precipitação foram obtidos da série de dados históricos do Instituto Nacional de Meteorológico (INMET – www.inmet.gov.br).

Os dados obtidos foram submetidos às análises variância (ANOVA) e quando encontradas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) no programa computacional Genes (Cruz, 2013).

3. Resultados

As temperaturas foram significativamente maiores no ambiente indoor, com média das máximas em torno de 43,77 °C, mínimas de 16,31 °C e média de 38,2 °C, enquanto que no ambiente outdoor as médias foram 35,68 °C, 15,19 °C e 30,2 °C para temperaturas máxima, mínima e média, respectivamente (Figura 1A). A umidade relativa do ar foi significativamente maior no ambiente outdoor com, aproximadamente, 15% a mais de umidade (Figura 1B). A precipitação total no pomar outdoor foi de 158.4 mm durante o período de estudo (Figura 2).

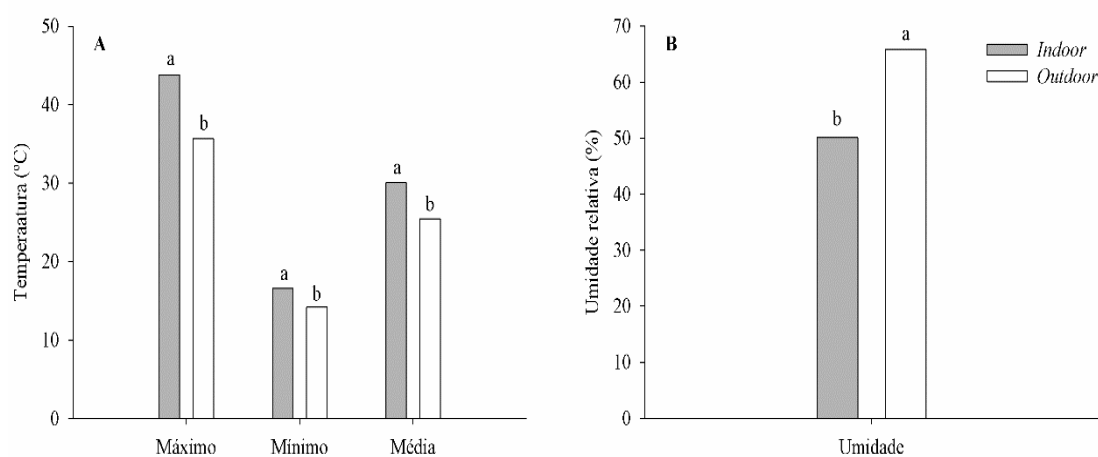


Figura 1. Valores médios de temperatura máxima, média e mínima (A) e dados de umidade relativa do ar indoor e outdoor (B). Viçosa, MG.

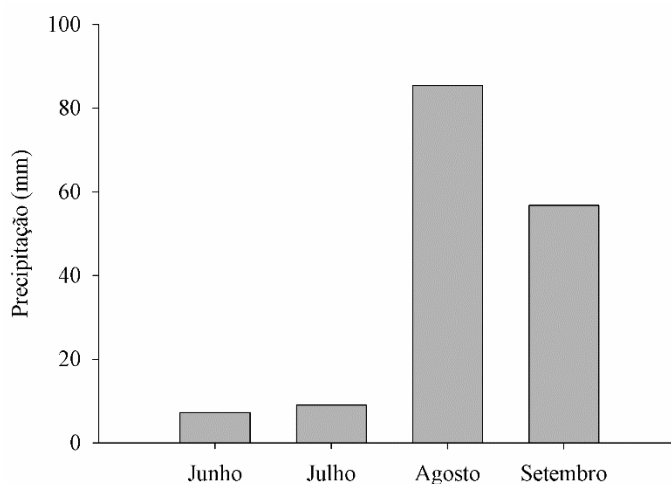


Figura 2. Precipitação média em ambiente outdoor durante os meses de avaliação. Viçosa, MG.

O comprimento médio das brotações dos enxertos, aos 50 dias, não diferiu significativamente entre tratamentos indoor e outdoor, exceto entre os enxertos de *S. terebinthifolius* que foram favorecidos quando cultivados em ambiente indoor (Figura 3 - A). Aos 90 dias, diferenças significativas foram observadas para o comprimento das brotações dos enxertos de *S. macrophylla* e *S. terebinthifolius* quando cultivados em ambiente indoor, enquanto que o comprimento das brotações das demais espécies não apresentou diferenças significativas (Figura 3 - B).

A circunferência das brotações, aos 50 dias, não diferiu significativamente entre os tratamentos indoor e outdoor. Por outro lado, aos 90 dias, o cultivo em ambiente indoor favoreceu o crescimento em circunferência das brotações dos enxertos de *J. mimosifolia*, *H. heptaphyllus*, *S. macrophylla*, *S. terebinthifolius* e *H. courbaril* (Figura 3 - C).

O número de brotações por enxerto, aos 50 dias, não diferiu significativamente entre os ambientes de cultivo, exceto para os enxertos de *C. legalis* que tiveram maior número de brotações quando cultivados em ambiente indoor (Figura 3 - E). Aos 90 dias, além de *C. legalis*, os enxertos de *S. terebinthifolius* também foram favorecidos pelo ambiente indoor enquanto que as demais espécies não apresentaram diferenças significativas (Figura 3 - F). Vale ressaltar que aos 90 dias, foram observadas brotações de *S. terebinthifolius* mortas quando cultivadas outdoor, o que pode ter contribuído para a diferenciação no número de brotações.

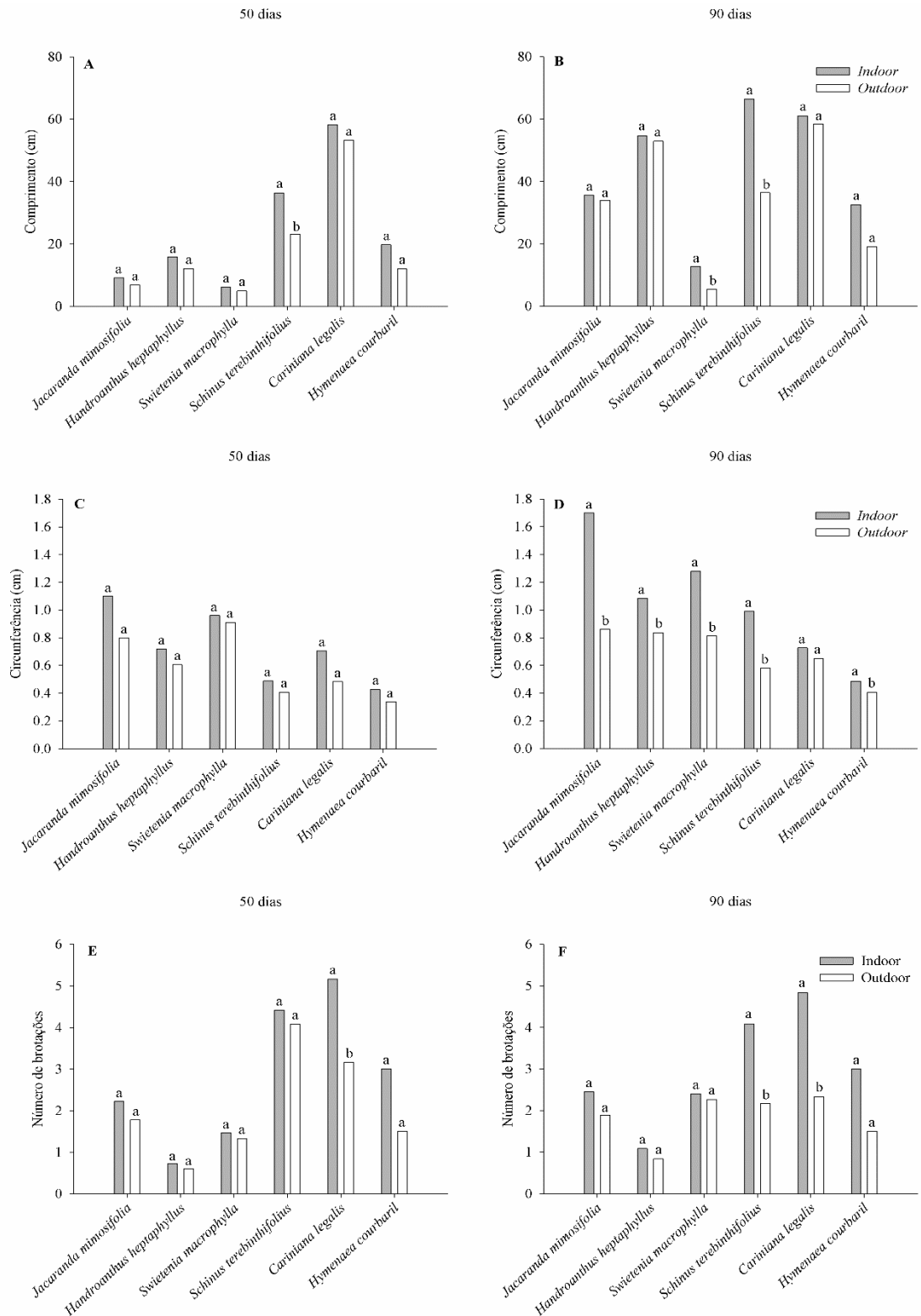


Figura 3. Comprimento médio das brotações aos 50 (A) e 90 (B) dias após a aplicação de paclobutrazol, circunferência das brotações aos 50 (C) e 90 (D) dias após a aplicação do paclobutrazol e número de brotações aos 50 (E) e 90 (F) dias após a aplicação do paclobutrazol das espécies *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*,

Swietenia macrophylla, *Schinus terebinthifolius*, *Cariniana legalis* e *Hymenaea courbaril*. Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A incidência de pragas, aos 50 dias, foi observada somente nos enxertos de *J. mimosifolia* e *H. heptaphyllus*, sem diferenças significativas entre os tratamentos indoor e outdoor (Figura 4). Aos 90 dias, não foi observada incidência de pragas devido ao controle realizado após a primeira avaliação. O controle de insetos foi realizado com óleo de Neem, um inseticida orgânico a base de amêndoas de sementes de Neem indicano (*Azadirachta indica*). Para tanto, foi diluído 1 ml do produto em 1 L de água e, com auxílio de um borrifador, aplicado sobre as folhas afetadas em dose única. Os insetos mais comumente identificados foram formigas e pulgões (ver suplementar 20).

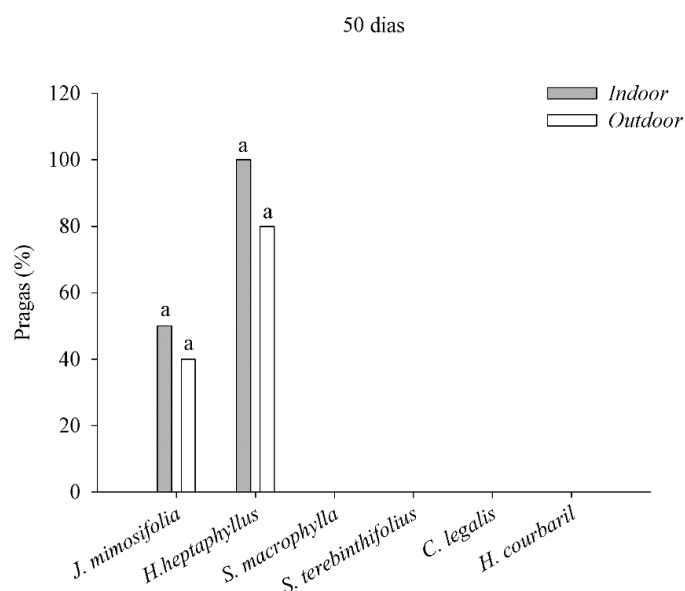


Figura 4. Ocorrência de insetos em enxertos de seis espécies florestais nativas tratadas com paclobutrazol e cultivadas indoor e outdoor.

As espécies *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius* responderam positivamente a indução do florescimento pela técnica de enxertia e aplicação de PBZ e suas representações constam nos materiais suplementares 21 e 22. Aos 50 dias, o número de flores em enxertos de *J. mimosifolia* variou significativamente em plantas cultivadas outdoor (Figura 5 - A). O contrário foi observado para os enxertos de *S. terebinthifolius*, cuja floração foi significativamente maior para enxertos cultivados indoor (Figura 5 -

A). Aos 90 dias, somente *S. terebinthifolius* apresentou floração, seguindo o mesmo padrão observado aos 50 dias, ou seja, com maior produção de flores indoor (Figura 5 - B).
 B). Aos 50 dias após a aplicação do PBZ, apenas os enxertos de *S. terebinthifolius* frutificaram, com produção significativamente maior em ambiente indoor (Figura 5 - C).
 C). Aos 90 dias, frutos foram observados nos enxertos de *S. terebinthifolius* e *J. mimosifolia*, com diferenças significativas observadas apenas para *J. mimosifolia* cultivadas outdoor (Figura 5 - D).

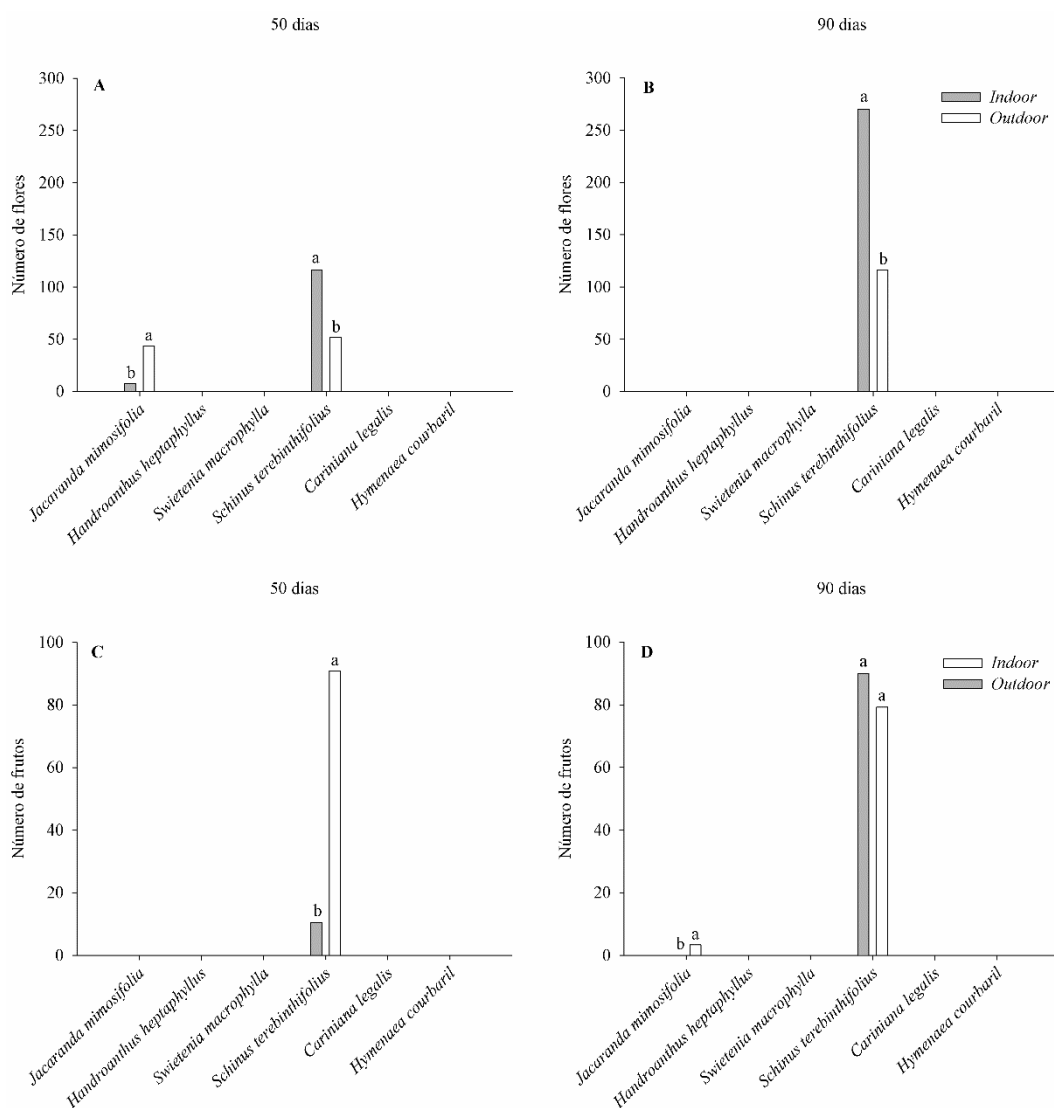


Figura 5. Número de flores aos 50 (A) e 90 (B) e número de frutos aos 50 (C) e 90 (D) dias pós a aplicação do paclobutrazol em seis espécies arbóreas nativas do Brasil. Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. Discussão

O melhor desenvolvimento em comprimento, circunferência e número de brotações nos enxertos das mudas cultivadas em ambiente indoor, pode ter sido influenciado pelo melhor controle nutricional, devido à ausência de lixiviação de nutrientes causada pelas chuvas quando mantido outdoor (Fonseca et al. 2010; Souza et al. 2012). Outro fator preponderante no desenvolvimento dos enxertos pode ser devido às altas temperaturas internas, proporcionando aumento do conteúdo de clorofila nas folhas, o que resulta em maior taxa de fotossíntese, como observado em mudas de *Citrullus lanatus* (Baninasab 2009), *Cucumis sativus* (Baninasab; Ghobadi 2011) e *Punica granatum* (Moradi et al. 2016).

A temperatura está diretamente relacionada com os processos fisiológicos e morfológicos (Castilla 2013; Lucidos et al. 2013), influenciando desde a germinação até a fase adulta das plantas (Silva et al. 2015; Guerra et al. 2014; Oliveira; Pereira 2014; Kamran et al. 2018; Martorano et al. 2018), tais como crescimento (Riis et al. 2012; Moles et al. 2014), produção de flores (Lucidos et al. 2013; Jumrani; Bhatia 2014) e de folhas (Martins et al. 2007). Segundo Baker e Allen (1993), se a temperatura estiver abaixo do ideal, um ligeiro aumento pode levar a um maior crescimento e desenvolvimento das plantas, mas se a temperatura estiver próxima do máximo, um pequeno aumento pode afetar negativamente seus crescimentos e rendimentos.

O avanço de programas de melhoramento e conservação genética de espécies arbóreas nativas depende da elaboração de estratégias de cruzamentos artificiais que reduzam a quantidade de progênies endogâmicas e a perda de diversidade por deriva genética, ocasionada, em muitos casos, pela coleta de sementes em pequeno número de indivíduos e/ou matrizes isoladas (Higa; Silva 2006). Nesse sentido, o florescimento precoce é de fundamental importância dentro das estratégias de melhoramento e conservação genética, pois antecipa a fase reprodutiva, permitindo a combinação de genótipos superiores e divergentes, o que resultará na produção de sementes com ampla variabilidade e qualidade genética. Assim, as fenofases de floração e frutificação observadas nos enxertos *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius*, demonstram que as técnicas utilizadas para a formação do pomar (enxertia e aplicação de PBZ) foram eficientes na antecipação da fase reprodutiva dessas espécies.

As diferenças observadas na quantidade de flores e frutos produzidos indoor e outdoor indicam que os requisitos climáticos para a indução de florescimento e frutificação foram satisfeitos nesses locais (para cada espécie) e, sob tais condições, o

efeito estimulante adicional do PBZ resultou em uma combinação adequada (Gardner et al. 2016). A maior quantidade de flores de *S. terebinthifolius* em ambiente indoor pode ser resultado das altas temperaturas internas, as quais foram significativamente maiores que no ambiente outdoor, o que confirma as correlações observadas entre temperatura e quantidade de botões florais (Cesário; Gaglianone 2008). No que se refere a maior quantidade de frutos em ambiente indoor aos 50 dias, possivelmente foi devido à rápida resposta dos enxertos ao regulador de crescimento. Tais diferenças não foram observadas aos 90 dias.

Diferente do observado em *S. terebinthifolius*, a maior quantidade de flores e frutos de *J. mimosifolia* cultivados em ambiente outdoor, confirmam a preferência da espécie por condições mais amenas (Carón et al. 2018), florescendo em temperaturas que variam de 20 a 30°C e umidade relativa próximas a 70% (Sun et al. 2013). A ausência de frutos de *J. mimosifolia* em ambiente indoor pode ser explicada pela autoincompatibilidade de ação tardia, uma vez que as flores são protândricas (Alves et al. 2010), ou seja, a abertura das anteras ocorre antes que o estigma esteja receptivo, o que parece ser uma estratégia do gênero para evitar a autopolinização (Bittencourt; Semir 2006; Yanagizawa; Maimoni-Rodella 2007; Guimarães et al. 2008). Além disso, são preferencialmente polinizadas por abelhas de médio e grande porte (Bittencourt; Semir 2006; Guimarães et al. 2008), sugerindo que devido ao ambiente fechado (indoor), não recebeu a visita de seus polinizadores naturais.

A antecipação da fase reprodutiva observada na presente pesquisa está de acordo com os observados em enxertos de *Eucalyptus nitens* (Gardner et al. 2013), *E. smithii* (Gardner et al. 2016) e em mudas juvenis de *E. globulus* (Hasan; Reid 1995), *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* (Verghese et al. 2009) tratadas com PBZ, confirmando a eficácia desse hormônio regulador na antecipação da fase adulta em espécies perenes. A produção antecipada de flores seguida da frutificação, com a aplicação de PBZ, é resultado da sua ação na síntese de giberelinas, diminuindo, assim, os níveis endógenos desse hormônio no vegetal, além de aumentarem os níveis de ácido abscísico e citocininas (Upreti et al. 2013), o que resulta na regulação do crescimento da planta (Martínez-Fuentes et al. 2013), por direcionar os recursos disponíveis (carboidratos) para o desenvolvimento de gemas reprodutivas (Yuceer et al. 2003; Upreti et al. 2014; Srilatha et al. 2016).

A ausência de floração nos enxertos das demais espécies pode ser atribuída a vários fatores, tais como: (1) a existência de diferenças interespecíficas na capacidade

de induzir o florescimento precoce (Gardner et al. 2016), (2) a quantidade do indutor de florescimento utilizado pode ter sido insuficiente, devendo-se, portanto, estudar diferentes dosagens para cada espécie (Yuceer et al. 2003), (3) a época do ano e forma de aplicação pode não ter sido adequada (Sarker; Rahim 2012; Martinez-Fuentes et al. 2013), (4) o porta-enxerto pode ter transferido sinais juvenis ao enxerto adulto (Gardner et al. 2016) e (5) quanto ao estágio de desenvolvimento do material enxertado, como verificado em mudas jovens de *Populus deltoides* (Yuceer et al. 2003) e *Eucalyptus nitens* (Williams et al. 1999; Gardner et al. 2013) as quais não floresceram em decorrência do estágio de maturidade. Ao estudarem a ação do paclobutrazol no florescimento de *E. nitens*, Williams et al. (1999) verificaram que poucos indivíduos alcançaram a fase reprodutiva precocemente e que, provavelmente, os níveis de inibição reprodutiva são altos, o que indica que um conjunto complexo de condições deve ser atendido antes do início do desenvolvimento reprodutivo. Nesse sentido, os resultados indicam que as seis espécies respondem diferentemente a aplicação de PBZ e cultivo indoor e outdoor e que as diferenças observadas podem ser de origem fisiológica, as quais permanecem inexploradas para as espécies florestais nativas.

A partir da formação dos pomares de cruzamentos em vasos (Ver suplementar 28), será possível produzir sementes com ampla variabilidade genética as quais poderão atender os programas de reflorestamento e restauração florestal. Porém, para que haja sucesso em programas de conservação genética, alguns requisitos devem ser atendidos, tais como: (1) manter o maior número possível de alelos de uma espécie e (2) maximizar o grau de dissimilaridade genética por cruzamento, resultando em maior tamanho efetivo populacional (N_e), o que irá reduzir os efeitos negativos da endogamia e deriva genética (El-Kassaby et al. 2019). Para tanto, faz-se necessário a manutenção de tamanhos efetivos populacionais (N_e) entre 175 e 200, o que poderá ser realizado a partir do cruzamento entre indivíduos contrastantes (de maior dissimilaridade genética). Esse aumento poderá ser satisfeito pela inclusão de pólen de outras populações. Nesse sentido, seguindo metodologia de Resende (2002) e cálculos experimentais (dados não publicados), as expedições de coleta de pólen devem ser realizadas em 60 matrizes divididas em quatro subpopulações (15 em cada subpopulação) representativas de cada espécie. Assim, altos níveis de variabilidade genética serão mantidos, uma vez que o aumento do número de cruzamentos entre indivíduos divergentes aumenta de forma constante o tamanho efetivo populacional (El-Kassaby et al. 2019), o que resultará na conservação efetiva dessas espécies dentro dos pomares.

5. Conclusões

A formação do pomar de cruzamentos em vasos foi demonstrada como possível e, portanto, um protocolo foi desenvolvido para as seis espécies arbóreas nativas estudadas.

As brotações dos enxertos de *Swietenia macrophylla* e *Schinus terebinthifolius* possuem maior comprimento quando cultivadas em ambiente indoor, enquanto que o comprimento dos enxertos das demais espécies pouco é influenciado pelo ambiente de cultivo;

A circunferência das brotações dos enxertos de *Jaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Swietenia macrophylla*, *Schinus terebinthifolius* e *Hymenaea courbaril* possuem maior desenvolvimento quando cultivados em ambiente indoor, enquanto que os enxertos de *Cariniana legalis* não são influenciados pelo ambiente;

O ambiente indoor favore a maior produção de brotações nos enxertos de *Schinus terebinthifolius* e *Cariniana legalis*.

A enxertia seguida da aplicação de paclobutrazol foi eficiente na antecipação da fase de reprodutiva nas espécies *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius*, o que representa avanço nos processos de conservação e melhoramento genético dessas espécies, por fornecer sementes com valor genético adequado para a implantação de testes de progênies de irmãos completos em curto período.

De modo geral, pode-se recomendar que, tanto pomares de cruzamentos em vasos mantidos indoor e outdoor são eficientes em promover o florescimento precoce para *J. mimosifolia* e *S. terebinthifolius*.

Recomenda-se que bancos de conservação genética possam ser realizados em pomares em vasos, o que resulta em diminuição da área em hectares necessários para o projeto de conservação, pode reduzir os custos de implantação e facilita o manejo das plantas a serem conservadas, possibilitando o seu florescimento precoce.

O florescimento precoce e a facilidade de manejo dos pomares em vasos, podem ainda viabilizar a formação de híbridos interespecíficos em espécies florestais nativas, aproveitando-se a possível heterose nesses cruzamentos. No caso desse trabalho recomenda-se que aproveitando o florescimento precoce de *J. mimosifolia* e *S.*

terebinthifolius, que os mesmos sejam hibridados com espécies afins de seus respectivos gêneros.

6. Referências

- Alves, G.R., Peruchi, A., Agostini, K. (2012). Polinização em área urbana: o estudo de caso de Jacaranda mimosifolia D. Don (Bignoniaceae). *Bioikos*, **24**: 31–41.
- Assis, T., Warburton, P., Harwood, C. (2005). Artificially induced protogyny: an advance in the controlled pollination of Eucalyptus. *Australian Forestry*, **68**: 27–33. doi:10.1080/00049158.2005.10676223.
- Assis, T.F., Mafia, R.G. (2007). Hibridação e Clonagem. In: Borém, A. (Org.). *Biotechnology Florestal*. 01 ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda., **1**: 93–121
- Baker, J.T., Allen, L.H. (1993). Contrasting crop species responses to CO₂ and temperature: rice, soybean and citrus. *Vegetatio*, **104**: 239–260.
- Baninasab, B. (2009). Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. *Scientia horticulturae*, **121**: 144–148. doi: 10.1016/j.scienta.2009.01.028.
- Baninasab, B., Ghobadi, C. (2011). Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, **30**: 213–219. doi: 10.1007/s00344-010-9188-2.
- Barth, C., Tullio, M., Conklin, P.L. (2006). The role of ascorbic acid in the control of flowering time and the onset of senescence. *Journal of Experimental Botany*, **57**: 1657–1665.
- Bindu, G.V., Upreti, K.K., Sathisha, G. J. (2018). Effects of Paclobutrazol on Non-enzymatic and Enzymatic Antioxidants during Floral Bud Development in Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, **7**: 1608–1617. doi: 10.20546/ijcmas.2018.701.195.
- Bittencourt, N.S., Semir, J. (2006). Floral biology and late-acting self-incompatibility in *Jacaranda racemosa* (Bignoniaceae). *Australian Journal of Botany*, **54**: 315–324. doi:10.1071/bt04221.

- Brar, J.S., Bal, J.S. (2010). Role of Paclobutrazol and Ethephon in Reproductive Growth of Allahabad Safeda'Guava (*Psidium guajava* L.) Plants at Different Spacing. *Journal of Horticultural Science*, **5**: 128-133.
- Carón, M.M., Frenne, P., Ortega-Baes, P., Quinteros, A., Verheyen, K. (2018). Regeneration responses to climate and land-use change of four subtropical tree species of the southern Central Andes. *Forest ecology and management*, **417**: 110–121. doi: 10.1016/j.foreco.2018.02.006.
- Castilla, N. *Greenhouse technology and management*. (2013) 2nd ed. CABI.
- Cesário, L.F., Gaglianone, M.C. (2008). Biologia floral e fenologia reprodutiva de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em Restinga do Norte Fluminense. *Acta Botanica Brasilica*, **22**: 828–833.
- Dickinson, G.R., Wallace, H.M., Lee, D. J. (2010). Controlled pollination methods for creating *Corymbia* hybrids. *Silvae Genetica*, **59**: 233–241.
- El-Kassaby, Y.A., et al. (2019). Concept for gene conservation strategy for the endangered Chinese yellowhorn, *Xanthoceras sorbifolium*, based on simulation of pairwise kinship coefficients. *Forest Ecology and Management*, **432**: 976–982. doi: 10.1016/j.foreco.2018.10.045.
- Fonseca, S.M. et al. (2010). *Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto*. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 200p.
- Gardner, R.A., Bertling, I., Savage, M.J. (2013). Overhead irrigation increased winter chilling and floral bud production in *Eucalyptus nitens*. *Southern Forests*, **75**: 199–212. doi: 10.2989/20702620.2013.858209.
- Gardner, R.A.W., Bertling, I., Savage, M.J., Naidoo, S. (2016). Investigating optimal site conditions for flower bud production in *Eucalyptus smithii* orchards in South Africa. *Australian Forestry*, **79**: 137–146. doi: 10.1080/00049158.2016.1159164.
- Guimarães, E., Di Stasi, L.C., Maimoni-Rodella, R.D.C.S. (2008). Pollination biology of *Jacaranda oxyphylla* with an emphasis on staminode function. *Annals of botany*, **102**: 699-711. doi: 10.1093/aob/mcn152.
- Hamzah, S., Chan, J.L., Yeang, H.Y. (2002). Pollen tube growth and fruit-set success in *Hevea brasiliensis* hand-pollination influenced by the choice of clone and female flower. *Euphytica*, **123**: 1–8.
- Harbard, J.L., Griffin, A.R., Espejo, J. (1999). Mass controlled pollination of *Eucalyptus globulus*: a practical reality. *Canadian Journal of Forest Research*, **29**: 1457–1463. doi: 10.1139/x99-129.

- Hasan, O., Reid, J.B. (1995). Reduction of generation time in *Eucalyptus globulus*. *Plant Growth Regulation*, **17**: 53–60.
- Hetherington, S., Jones, K.M. (1990). Effectiveness of paclobutrazol in retarding height growth of *Eucalyptus globulus* seedlings. *Canadian journal of forest research*, **20**: 1811–1813.
- Horsley, T.N., Johnson, S.D., Myburg, A.A. (2010). Comparison of different control-pollination techniques for small-flowered eucalypts. *New forests*, **39**: 75–88. doi: 10.1007/s11056-009-9156-5.
- Jumrani, K., Bhatia, V.S. (2014). Impact of elevated temperatures on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, **164**: 90–97. doi: 10.1016/j.fcr.2014.06.003.
- Kamran, M., et al. (2018). Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. *Scientific reports*, **8**: 1–15. doi: 10.1038/s41598-018-23166-z.
- Kishore, K., Singh, H.S., Kurian, R.M. (2015). Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, **85**: 863–872.
- Lucidos, J.G., et al. (2013). Different day and night temperature responses in *Lilium hansonii* in relation to growth and flower development. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, **54**: 405–411.
- Martínez-Fuentes, A., et al. (2013). Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing *Citrus* spp. *Scientia Horticulturae*, **151**: 122–127. doi: 10.1016/j.scienta.2012.12.014.
- Martins, F.B., Silva, J.D., Streck, N.A. (2007). Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. *Revista Árvore*, **31**: 373–381.
- Martorano, L.G., Oliveira, M. do S.P., Mendes, G.G.C., Moraes, J.R. da S.C., Pinheiro, D.P., Oliveira, A.H.M. (2018). Agrometeorological conditions associated with phenological responses of tucumã-do-pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.). *Ciência e Agrotecnologia*, **42**: 127-137. doi: 10.1590/1413-70542018422032917.
- Moles, A. T., et al. (2014). Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation?. *Journal of Vegetation Science*, **25**: 1167–1180. doi: 10.1111/jvs.12190

- Moradi, S., Baninasab, B., Gholami, M., Ghobadi, C. (2016). Paclobutrazol application enhances antioxidant enzyme activities in pomegranate plants affected by cold stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **92**: 65–71. doi:10.1080/14620316.2016.1224605.
- Nogueira, A., Rey, P.J., Alcántara, J.M., Feitosa, R.M., Lohmann, L.G. (2015). Geographic mosaic of plant evolution: extrafloral nectary variation mediated by ant and herbivore assemblages. *PloS one*, **10**: 1–24. doi: 10.1371/journal.pone.0123806.
- Oliveira, A.K.M., Pereira, K.C.L. (2014). Efeito de diferentes temperaturas na germinação e crescimento radicular de sementes de jatobá-mirim (*Guibourtia hymenaefolia* (Moric.) J. Léonard). *Ciência Florestal*, **24**: 111–116.
- Potts, B., et al. (2008). Advances in reproductive biology and seed production systems of *Eucalyptus*: the case of *Eucalyptus globulus*. *Southern Forests*, **70**: 145–154. doi:10.2989/south.for.2008.70.2.10.538.
- Potts, B.M., Potts, W.C., Cauvin, B. (1987). Inbreeding and interspecific hybridization in *Eucalyptus gunnii*. *Silvae Genetica*, **36**: 194–199.
- Randall, B.W., Walton, D.A., Lee, D.J., Wallace, H.M. (2015). Comparison of three pollination methods for *Eucalyptus argophloia*, a small-flowered eucalypt. *Annals of forest science*, **72**: 127–133. doi: 10.1007/s13595-014-0407-z.
- Resende, M.D.V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 975f.
- Riis, T., et al. (2012). Growth and morphology in relation to temperature and light availability during the establishment of three invasive aquatic plant species. *Aquatic Botany*, **102**: 56–64.
- Silva, P.H.M., Moraes, C.B.D., Mori, E.S. (2012). Polinização controlada em eucaliptos nas empresas florestais brasileiras. *Circular Técnica IPEF*, **204**: 1–12. [<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr204.pdf>].
- Silva, R.D.C.B., et al. (2017). Crescimento inicial de plântulas de melancia submetidas ao aumento da temperatura e concentrações de CO₂. *Magistra*, **27**: 33–43.
- Soumya, P.R., Kumar, P., Pal, M. (2017). Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, **22**: 267–278.

- Souza, T.R.D., Villas Boas, R.L., Quaggio, J.A., Salomão, L.C., Foratto, L.C. (2012). Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **47**: 846–854.
- Srilatha, V., Reddy, Y.T.N., Upreti, K.K., Venugopalan, R., Jayaram, H.L. (2016). Responses of pruning and paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.): changes in tree vigour, flowering and phenols. *Journal of Applied Horticulture*, **18**: 148–153.
- Sun, Y., Li, F., Shi, J. A. (2013). Study on Test Materials with the Relationship between Growth and Development Characteristics and Temperature and Relative Humidity of *Jacaranda mimosifolia*. *Advanced Materials Research*, **743**: 189–194. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.743.
- Upreti, K.K., et al. (2013). Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. *Scientia Horticulturae*, **150**: 414–418. doi: 10.1016/j.scienta.2012.11.030.
- Upreti, K.K., Prasad, S.S., Reddy, Y.T.N., Rajeshwara, A.N. (2014). Paclobutrazol induced changes in carbohydrates and some associated enzymes during floral initiation in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. *Indian Journal of Plant Physiology*, **19**: 317–323. doi: 10.1007/s40502-014-0113-8.
- Varghese, M., Ravi, N., Kamalakannan, R., Harwood, C.E. (2009). Effect of silvicultural treatments on growth, fertility and capsule traits in seedling seed orchards of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. tereticornis*. *New forests*, **37**: 99–107. doi: 10.1007/s11056-008-9111-x.
- Vieira, E.R.D., Soares, M.A., Silva, E.D.B., Assis Júnior, S.L., Barroso, G.A. (2016). First record of *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) in *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Arquivos do Instituto Biológico*, **83**: 1–2. doi: 10.1590/1808-1657000382015.
- Villamil, N., Márquez-Guzmán, J., Boege, K. (2013). Understanding ontogenetic trajectories of indirect defence: ecological and anatomical constraints in the production of extrafloral nectaries. *Annals of Botany*, **112**: 701–709. doi: 10.1093/aob/mct005.
- Wei, X.J., et al. (2018). Early Flowering Induction in Golden Camellia Seedlings and Effects of Paclobutrazol. *HortScience*, **53**: 1849–1854. doi: 10.21273/hortsci13676-18.

- Willians, D.R., Ross, J.J., Reid, J.B., Potts, B.M. (1999). Response of *Eucalyptus nitens* seedlings to gibberellin biosynthesis inhibitors. *Plant Growth Regulation*, **27**: 125–129.
- Yanagizawa, Y.A., Maimoni-Rodella, R. D. C. S. (2007). Floral visitors and reproductive strategies in five melittophilous species of Bignoniaceae in Southeastern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **50**: 1043–1050.
- Yuceer, C., Kubiske, M.E., Harkess, R.L., Land Jr, S.B. (2003). Effects of induction treatments on flowering in *Populus deltoides*. *Tree physiology*, **23**: 489–495.
- Zhang, S., et al. (2016). Effect of exogenous GA3 and its inhibitor paclobutrazol on floral formation, endogenous hormones, and flowering-associated genes in ‘Fuji’ apple (*Malus domestica* Borkh.). *Plant Physiology and Biochemistry*, **107**: 178–186. doi: 0.1016/j.plaphy.2016.06.005.

CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos objetivos definidos nesse trabalho, buscando a estimação de parâmetros genéticos de espécies florestais nativas em teste de progênes, resgate vegetativo por enxertia e formação de pomar de cruzamentos indoor e outdoor, concluiu-se que existe variabilidade genética para os caracteres de crescimento, portanto há possibilidade de ganhos genéticos mediante a seleção, excetuando-se a espécie *Anadenanthera peregrina*. Os caracteres de crescimento tiveram valores de herdabilidade e acurácia seletiva de baixa a média magnitude, aos 42 meses de idade, devendo-se, portanto, priorizar as características com maior controle genético dentro das espécies. Nesse sentido, a seleção de genótipos de *Mabea fistulifera* e *Lecythis pisonis* deve ser aplicada com base na altura. Para *Platymenia reticulata* e *Hymenaea courbaril*, a seleção deve ser baseada no DAP e para *Piptadenia gonoacantha*, a seleção deve considerar o volume.

As progênes de *Anadenanthera peregrina* tiveram baixo controle genético para todos os caracteres avaliados, sugerindo maior dificuldade na obtenção de ganhos com a seleção dentro dessa espécie.

As estratégias de seleção utilizadas são viáveis para o alcance de ganhos genéticos dentro do teste. No entanto, a otimização é mais recomendada, pois garante a manutenção de diversidade genética mediante a escolha de cenários com maiores tamanhos efetivos (N_e) sem prejudicar os ganhos genéticos.

Os resultados mostram que devido os caracteres de crescimentos apresentarem moderado controle genético, entre e dentro de progênes, a média da população pode ser melhorada pela seleção de progênes e genótipos superiores dentro de progênes para comporem a população parental, em um pomar de sementes por mudas. Em se tratando da conservação genética, os valores de N_e próximos a 30 indicam que as chances de sucesso na conservação de alelos dentro do banco são consistentes por apenas algumas gerações. Nesse sentido, faz-se necessário a realização de novas expedições de coleta que visem à introdução de novos alelos na população. Essa coleta deve acontecer em procedências (populações) diferentes da utilizada para a instalação do teste de progênes analisado nesse trabalho.

No que se refere ao resgate vegetativo de espécies florestais nativas via enxertia, as espécies possuem aptidão para o uso da técnica, com maior sucesso para as espécies *Jacaranda mimosifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Schinus terebinthifolius* e

Swietenia macrophylla. Assim, os genótipos dessas espécies podem ser resgatados via enxertia, o que pode representar avanços significativos em programas de melhoramento e conservação genética visando à formação de populações melhoradas, tanto puras como híbridas.

As espécies *Cariniana legalis*, *Hymenaea courbaril* e *Caesalpinia pluviosa* possuem baixa sobrevivência quando enxertadas, portanto, novas estratégias de resgate e outros tipos de enxertia devem ser testadas para tais espécies.

Quando as mudas enxertadas foram cultivadas em ambiente de pomar indoor e outdoor, as diferenças em desenvolvimento vegetativo foram baixas, indicando que para o desenvolvimento vegetativo dos indivíduos a formação de pomares indoor ou outdoor pouco influencia em seu desenvolvimento.

Os enxertos de *Jacaranda mimosifolia* sob tratamento com paclobutrazol em ambiente outdoor produzem significativamente mais flores e frutos em relação ao indoor. O contrário foi observado para a produção de flores de *Schinus terebinthifolius*, sendo favorecido pelo ambiente indoor. Para a produção de frutos de *Schinus terebinthifolius* o ambiente outdoor proporcionou antecipação da produção, porém, a partir do momento que todas as mudas frutificaram o ambiente não interferiu na maior ou menor produção de frutos dessa espécie.

Em síntese, podem-se recomendar tanto pomares de cruzamento em vasos indoor e outdoor, pois em termos de eficiência, ambos promovem o florescimento precoce dessas espécies *Jacaranda mimosifolia* e *Schinus terebinthifolius*.

A propagação vegetativa de espécies arbóreas nativas e pomares indoor e outdoor apresenta grande potencial para a conservação e melhoramento genético dessas espécies para fins de resgate de mudas em locais em fase de supressão de vegetação, bem como no reflorestamento comercial e restauração florestal.

Dessa maneira, o programa de conservação e melhoramento genético de espécies florestais nativas iniciado na UFV mostra-se promissor para a conservação de alelos dessas espécies, os quais podem ser feitos em campo, em formato de testes de progênies ou pomar de sementes por mudas e em pomares de cruzamento em vasos (indoor e outdoor). Ambas as formas de conservação, trarão resultados promissores em termos de ganhos genéticos a partir da recombinação de materiais geneticamente divergentes e superiores explorando a máxima heterose entre os cruzamentos.

SEÇÃO 5

APÊNDICES

APÊNDICE – Capítulo 1

Seleção de potenciais genitores

Suplementar 1. Seleção dos dez melhores indivíduos potenciais genitores de Mabea fistulifera com base na altura aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	3	9	122	2,860	28,567
2	10	9	9	2,700	21,370
3	9	9	28	2,619	17,738
4	2	10	130	2,598	16,803
5	5	5	89	2,562	15,167
6	4	10	103	2,523	13,418
7	8	2	38	2,462	10,649
8	1	4	148	2,459	10,519
9	6	9	73	2,443	9,827
10	7	5	60	2,410	8,339

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (2,225) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 2. Seleção dos dez melhores indivíduos potenciais genitores de *Anadenanthera peregrina* com base no DAP aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	3	4	163	5,509	25,756
2	9	3	31	5,177	18,171
3	9	1	25	5,131	17,123
4	8	1	45	5,069	15,717
5	7	15	80	5,069	15,708
6	7	1	79	5,059	15,468
7	5	15	126	5,030	14,818
8	8	8	56	5,025	14,692
9	4	8	128	5,018	14,528
10	10	15	18	5,012	14,389

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (4,381) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 3. Seleção dos dez melhores indivíduos potenciais genitores de *Platymenia reticulata* com base no DAP aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	9	26	259	13,532	33,619
2	10	17	274	12,601	24,428
3	2	1	33	12,199	20,451
4	9	30	257	12,107	19,542
5	9	18	267	12,084	19,319
6	10	26	285	11,980	18,296
7	10	28	300	11,939	17,886
8	1	18	23	11,908	17,579
9	8	10	222	11,892	17,421
10	8	17	217	11,759	16,109

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (10,127) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 4. Seleção dos 10 melhores indivíduos potenciais genitores de *Hymenaea courbaril* com base no DAP aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	1	14	293	5,712	16,628
2	5	2	177	5,694	16,259
3	4	2	182	5,686	16,092
4	9	2	59	5,665	15,669
5	10	2	11	5,619	14,713
6	5	26	175	5,569	13,703
7	6	2	123	5,564	13,590
8	3	2	215	5,548	13,272
9	1	19	299	5,532	12,941
10	3	3	235	5,504	12,372

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (4,898) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 5. Seleção dos 10 melhores indivíduos potenciais genitores de *Lecythis pisonis* com base na altura aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	2	24	55	2,044	12,609
2	8	28	245	2,031	11,936
3	4	5	103	2,012	10,878
4	10	24	318	2,010	10,774
5	8	24	249	1,999	10,129
6	8	34	239	1,992	9,765
7	1	6	19	1,986	9,429
8	1	28	3	1,984	9,302
9	3	6	82	1,979	9,088
10	10	13	317	1,979	9,066

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (1,815) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 6. Seleção dos 10 melhores indivíduos potenciais genitores de *Piptadenia gonoacantha* com base no volume aos 42 meses de idade

Ranking	Bloco	Progênie	Indivíduo	u + a	Gisp (%)
1	9	4	300	0.026	86.747
2	10	4	321	0.025	82.374
3	5	4	143	0.023	70.710
4	3	11	99	0.023	66.336
5	1	12	12	0.023	64.878
6	8	6	5	0.022	60.504
7	2	4	49	0.021	49.570
8	7	34	220	0.020	48.112
9	9	32	293	0.203	48.112
10	9	20	291	0.019	44.467

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (0,014) em porcentagem; u+a: valor genético aditivo predito.

Seleção de progênies

Suplementar 7. Seleção das melhores progênies de *Mabea fistulifera* aos 42 meses de idade, com base na altura

Ranking	Progênie	u + g	Acurácia	Gsp (%)
1	9	2,439	0,535	9,674
2	10	2,346	0,501	5,439
3	5	2,281	0,564	2,535
4	4	2,263	0,499	1,731
5	13	2,262	0,457	1,695
6	7	2,244	0,501	0,890
7	2	2,234	0,588	0,400
8	11	2,224	0,499	-0,018
9	3	2,220	0,412	-0,207
10	14	2,207	0,565	-0,782
11	16	2,195	0,535	-1,313
12	8	2,177	0,499	-2,149
13	1	2,151	0,504	-3,318
14	6	2,141	0,588	-3,758
15	15	2,127	0,500	-4,369
16	12	2,081	0,536	-6,451

Gsp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (2.225) em porcentagem; u + g: valor genético predito.

Suplementar 8. Seleção das melhores progênie de *Anadenanthera peregrina* (angico vermelho), aos 42 meses de idade, com base no DAP

Ranking	Progênie	u + a	Acurácia	Gsp (%)
1	1	5,148	0,375	17,504
2	15	4,933	0,358	12,592
3	8	4,753	0,375	8,491
4	3	4,711	0,375	7,525
5	20	4,681	0,375	6,838
6	16	4,642	0,375	5,957
7	4	4,641	0,358	5,921
8	14	4,482	0,375	2,309
9	13	4,406	0,375	0,571
10	21	4,328	0,375	-1,209
11	18	4,274	0,375	-2,454
12	19	4,267	0,375	-2,604
13	7	4,241	0,375	-3,207
14	10	4,231	0,375	-3,421
15	5	4,200	0,375	-4,129
16	2	4,153	0,375	-5,202
17	12	4,124	0,375	-5,866
18	17	4,072	0,375	-7,069
19	11	4,009	0,375	-8,486
20	6	3,989	0,358	-8,943
21	9	3,719	0,375	-15,117

Gsp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênie (4,381) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 9. Seleção das melhores progênes de *Platymenia reticulata* (vinhático), aos 42 meses de idade, com base no DAP

Ranking	Progênie	u + a	Acurácia	Gsp (%)
1	26	12,139	0,533	19,869
2	17	11,629	0,532	14,829
3	1	11,627	0,579	14,803
4	10	11,492	0,504	13,476
5	18	11,400	0,532	12,574
6	30	10,828	0,557	6,914
7	8	10,752	0,557	6,169
8	15	10,724	0,557	5,892
9	28	10,572	0,558	4,389
10	14	10,442	0,431	3,104
11	11	10,387	0,579	2,562
12	16	10,238	0,470	1,090
13	7	10,231	0,557	1,023
14	9	10,203	0,579	0,750
15	25	10,163	0,558	0,349
16	13	10,128	0,470	0,006
17	2	10,027	0,579	-0,991
18	24	9,995	0,558	-1,304
19	3	9,800	0,557	-3,227
20	19	9,696	0,579	-4,258
21	21	9,612	0,558	-5,091
22	4	9,596	0,557	-5,247
23	12	9,449	0,430	-6,694
24	22	9,339	0,533	-7,781
25	29	9,334	0,579	-7,833
26	23	9,151	0,470	-9,643
27	27	9,089	0,557	-10,245
28	5	8,646	0,558	-14,624
29	6	8,601	0,558	-15,077
30	20	8,529	0,558	-15,785

Gsp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênes (10,127) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 10. Seleção das melhores progênes de *Hymenaea courbaril*, aos 42 meses de idade, com base no DAP

Ranking	Progênie	u + a	Acurácia	Gsp (%)
1	2	5,851	0,462	19,455
2	14	5,491	0,486	12,101
3	3	5,305	0,403	8,319
4	26	5,209	0,486	6,362
5	6	5,183	0,462	5,823
6	19	5,168	0,508	5,515
7	20	5,126	0,486	4,657
8	21	5,067	0,527	3,442
9	9	5,051	0,462	3,122
10	12	4,969	0,486	1,468
11	27	4,956	0,434	1,194
12	10	4,952	0,434	1,111
13	5	4,912	0,486	0,279
14	25	4,864	0,508	-0,700
15	30	4,856	0,508	-0,862
16	4	4,851	0,434	-0,966
17	17	4,818	0,508	-1,637
18	7	4,807	0,486	-1,860
19	18	4,806	0,508	-1,872
20	22	4,789	0,527	-2,215
21	29	4,772	0,367	-2,571
22	16	4,747	0,462	-3,079
23	11	4,724	0,434	-3,555
24	13	4,711	0,508	-3,816
25	28	4,692	0,435	-4,209
26	1	4,551	0,508	-7,074
27	8	4,516	0,462	-7,793
28	15	4,491	0,462	-8,309
29	23	4,469	0,403	-8,761
30	24	4,233	0,462	-13,567

Gisp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênes (4,898) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 11. Seleção das melhores progênies de *Lecythis pisonis*, aos 42 meses de idade, com base na altura

Ranking	Progênie	u + a	Acurácia	Gsp (%)
1	24	2,022	0,429	11,401
2	28	1,976	0,429	8,877
3	6	1,970	0,398	8,552
4	5	1,933	0,456	6,491
5	8	1,925	0,362	6,050
6	13	1,916	0,429	5,659
7	4	1,917	0,399	5,654
8	26	1,901	0,457	4,744
9	32	1,878	0,319	3,483
10	20	1,877	0,429	3,399
11	17	1,874	0,399	3,262
12	11	1,874	0,319	3,251
13	2	1,873	0,457	3,207
14	18	1,873	0,503	3,185
15	12	1,871	0,398	3,080
16	34	1,853	0,429	2,105
17	27	1,825	0,429	0,546
18	16	1,821	0,429	0,358
19	3	1,797	0,399	-0,992
20	30	1,785	0,457	-1,626
21	29	1,777	0,429	-2,105
22	9	1,766	0,522	-2,684
23	19	1,751	0,398	-3,494
24	14	1,746	0,399	-3,708
25	1	1,739	0,429	-4,182
26	15	1,736	0,481	-4,364
27	10	1,701	0,478	-6,248
28	7	1,696	0,481	-6,563
29	25	1,691	0,457	-6,778
30	22	1,689	0,481	-6,959
31	23	1,682	0,457	-7,312
32	21	1,676	0,398	-7,654
33	31	1,651	0,398	-9,031
34	33	1,640	0,362	-9,616

Gsp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (1,815) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Suplementar 12. Seleção das melhores progênies de *Piptadenia gonoacantha* aos 42 meses de idade, com base no volume

Ranking	Progênie	u+a	Acurácia	Gsp (%)
1	4	0,024	0,523	74,355
2	11	0,020	0,523	45,925
3	8	0,018	0,523	28,429
4	26	0,017	0,482	22,598
5	13	0,016	0,523	18,953
6	32	0,019	0,482	15,308
7	18	0,016	0,523	14,579
8	20	0,015	0,482	12,393
9	6	0,015	0,504	9,477
10	14	0,015	0,523	8,748
11	34	0,015	0,523	8,019
12	33	0,015	0,504	5,832
13	3	0,014	0,523	4,374
14	24	0,014	0,523	3,645
15	28	0,014	0,482	-0,729
16	45	0,013	0,192	-2,916
17	31	0,013	0,504	-5,103
18	22	0,013	0,504	-5,832
19	12	0,013	0,523	-6,562
20	27	0,013	0,523	-8,019
21	29	0,012	0,482	-9,477
22	9	0,012	0,522	-10,206
23	16	0,012	0,523	-11,664
24	10	0,012	0,458	-12,393
25	25	0,012	0,523	-13,121
26	19	0,012	0,504	-13,121
27	17	0,012	0,504	-14,579
28	23	0,012	0,504	-16,037
29	21	0,011	0,5233	-16,766
30	15	0,011	0,5036	-17,495
31	2	0,011	0,5036	-17,495
32	7	0,011	0,523	-18,224
33	30	0,011	0,523	-20,411
34	1	0,010	0,504	-24,056
35	5	0,009	0,482	-28,429

Gsp (%): ganho individual de seleção em relação à média geral das progênies (0,014) em porcentagem; u + a: valor genético aditivo predito.

Otimização de seleção via tamanho efetivo populacional

Suplementar 13. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênies de *Mabea fistulifera* para a altura aos 42 meses de idade

Nº	Cenários	Ne	F	F(%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 6 ind	3,000	0,167	16,667	14,514	12,095
2	2 Melhores Famílias - 5 ind	3,077	0,163	16,250	12,793	10,714
3	2 Melhores Famílias - 3 ind	4,000	0,125	12,500	17,328	15,162
4	2 Melhores Famílias - 2 ind	3,200	0,156	15,625	20,039	16,908
5	3 Melhores Famílias - 5 ind	7,500	0,067	6,667	10,547	9,844
6	3 Melhores Famílias - 3 ind	1,091	0,458	45,933	14,563	11,706
7	3 Melhores Famílias - 2 ind	4,800	0,104	10,417	17,277	15,478
8	4 Melhores Famílias - 5 ind	10,000	0,050	5,000	8,603	8,173
9	4 Melhores Famílias - 3 ind	8,000	0,063	6,250	12,324	11,553
10	4 Melhores Famílias - 2 ind	6,400	0,078	7,813	14,774	13,619
11	5 Melhores Famílias - 4 ind	11,429	0,044	4,375	8,896	8,507
12	5 Melhores Famílias - 3 ind	10,000	0,050	5,000	11,065	10,512
13	5 Melhores Famílias - 2 ind	8,000	0,063	6,250	13,115	12,296
14	6 Melhores Famílias - 4 ind	13,714	0,037	3,646	7,777	7,493
15	6 Melhores Famílias - 3 ind	12,000	0,042	4,167	9,937	9,331
16	6 Melhores Famílias - 2 ind	9,600	0,052	5,208	11,734	11,123
17	7 Melhores Famílias - 4 ind	16,000	0,031	3,125	7,555	7,319
18	7 Melhores Famílias - 3 ind	14,000	0,036	3,571	9,358	9,024
19	7 Melhores Famílias - 2 ind	11,200	0,045	4,464	11,226	10,725

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

Suplementar 14. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênies de *Anadenanthera peregrina* para o DAP aos 42 meses de idade

Nº	Cenários	Ne	F	F (%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 10 ind	1,333	0,375	37,500	11,376	7,110
2	2 Melhores Famílias - 8 ind	5,818	0,086	8,594	10,889	9,953
3	2 Melhores Famílias - 6 ind	5,333	0,094	9,375	12,523	11,349
4	2 Melhores Famílias - 4 ind	4,571	0,109	10,938	14,646	13,044
5	3 Melhores Famílias - 8 ind	8,727	0,057	5,729	9,489	8,946
6	3 Melhores Famílias - 6 ind	8,000	0,063	6,250	11,128	10,433
7	3 Melhores Famílias - 4 ind	6,857	0,073	7,292	13,447	12,467
8	4 Melhores Famílias - 8 ind	11,636	0,043	4,297	8,649	8,277
9	4 Melhores Famílias - 6 ind	10,667	0,047	4,688	10,219	9,739
10	4 Melhores Famílias - 4 ind	9,143	0,055	5,469	12,569	11,882
11	5 Melhores Famílias - 8 ind	13,333	0,036	3,750	8,139	7,834
12	5 Melhores Famílias - 6 ind	13,333	0,036	3,750	9,686	9,323
13	5 Melhores Famílias - 4 ind	11,429	0,044	4,375	11,835	11,317
14	6 Melhores Famílias - 8 ind	17,455	0,027	2,865	7,595	7,377
15	6 Melhores Famílias - 6 ind	16,000	0,031	3,125	9,059	8,777
16	6 Melhores Famílias - 4 ind	13,714	0,037	3,646	11,047	10,644
17	7 Melhores Famílias - 8 ind	20,364	0,025	2,455	7,174	6,998
18	7 Melhores Famílias - 6 ind	18,667	0,027	2,678	8,646	8,414
19	7 Melhores Famílias - 4 ind	16,000	0,031	3,125	10,738	10,402
20	8 Melhores Famílias - 8 ind	23,273	0,022	2,148	6,563	6,422
21	8 Melhores Famílias - 6 ind	21,333	0,023	2,344	7,948	7,762
22	8 Melhores Famílias - 4 ind	18,286	0,027	2,734	9,946	9,674
23	9 Melhores Famílias - 8 ind	26,182	0,019	1,909	6,001	5,886
24	9 Melhores Famílias - 6 ind	24,000	0,021	2,083	7,390	7,236
25	9 Melhores Famílias - 4 ind	20,571	0,024	2,431	9,375	9,147

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

Suplementar 15. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênies de *Platymenia reticulata* para o DAP aos 42 meses de idade.

Nº	Cenários	Ne	F	F (%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 7 ind	2,800	0,179	17,857	14,192	11,658
2	2 Melhores Famílias - 6 ind	5,333	0,094	9,375	13,829	12,532
3	2 Melhores Famílias - 4 ind	4,571	0,109	10,936	17,489	15,576
4	2 Melhores Famílias - 2 ind	3,200	0,156	15,625	23,113	19,502
5	3 Melhores Famílias - 6 ind	8,000	0,063	6,250	13,583	12,734
6	3 Melhores Famílias - 4 ind	6,857	0,073	7,292	16,938	15,703
7	3 Melhores Famílias - 2 ind	4,800	0,104	10,417	21,420	19,189
8	4 Melhores Famílias - 6 ind	10,667	0,047	4,688	12,714	12,118
9	4 Melhores Famílias - 4 ind	9,143	0,055	5,469	15,808	14,943
10	4 Melhores Famílias - 2 ind	6,400	0,078	7,813	19,917	18,361
11	5 Melhores Famílias - 6 ind	13,333	0,038	3,750	12,375	11,911
12	5 Melhores Famílias - 4 ind	11,429	0,044	4,375	15,709	15,022
13	5 Melhores Famílias - 2 ind	8,000	0,063	6,250	19,624	18,397
14	6 Melhores Famílias - 6 ind	16,000	0,031	3,125	11,337	10,982
15	6 Melhores Famílias - 4 ind	13,714	0,037	3,646	14,441	13,915
16	6 Melhores Famílias - 2 ind	9,600	0,052	5,208	18,495	17,531
17	7 Melhores Famílias - 6 ind	18,667	0,027	2,679	10,555	10,272
18	7 Melhores Famílias - 4 ind	16,000	0,031	3,125	13,557	13,133
19	7 Melhores Famílias - 2 ind	11,200	0,045	4,464	17,530	16,748
20	8 Melhores Famílias - 6 ind	21,333	0,023	2,344	10,057	9,821
21	8 Melhores Famílias - 4 ind	18,286	0,027	2,734	12,959	12,605
22	8 Melhores Famílias - 2 ind	12,800	0,039	3,906	16,667	16,016
23	9 Melhores Famílias - 6 ind	24,000	0,021	2,083	9,732	9,529
24	9 Melhores Famílias - 4 ind	20,571	0,024	2,431	12,452	12,152
25	9 Melhores Famílias - 2 ind	14,400	0,035	3,472	16,289	15,724
26	10 Melhores Famílias - 6 ind	26,667	0,019	1,875	9,038	8,868
27	10 Melhores Famílias - 4 ind	22,857	0,022	2,188	11,481	11,229
28	10 Melhores Famílias - 2 ind	16,000	0,031	3,125	15,464	14,981
29	11 Melhores Famílias - 6 ind	29,333	0,017	1,705	8,773	8,624
30	11 Melhores Famílias - 4 ind	25,143	0,019	1,989	11,062	10,842
31	11 Melhores Famílias - 2 ind	17,600	0,028	2,841	15,061	14,633
32	12 Melhores Famílias - 6 ind	32,000	0,016	1,563	8,059	7,933
33	12 Melhores Famílias - 4 ind	27,429	0,018	1,823	10,252	10,066
34	12 Melhores Famílias - 2 ind	19,200	0,026	2,604	14,066	13,700
35	13 Melhores Famílias - 6 ind	34,667	0,014	1,442	7,691	7,579

Cont...

36	13 Melhores Famílias - 4 ind	29,714	0,017	1,683	9,833	9,668
37	13 Melhores Famílias - 2 ind	20,800	0,024	2,404	13,802	13,470
38	14 Melhores Famílias – 6 ind	37,333	0,013	1,339	7,375	7,276
39	14 Melhores Famílias – 4 ind	32,000	0,016	1,563	9,635	9,485
40	14 Melhores Famílias – 2 ind	22,400	0,022	2,232	13,513	13,212
41	15 Melhores Famílias – 6 ind	40,000	0,013	1,250	6,965	6,8778
42	15 Melhores Famílias – 4 ind	34,286	0,015	1,458	9,177	9,043
43	15 Melhores Famílias – 2 ind	24,000	0,021	2,083	12,940	12,671
44	16 Melhores Famílias – 6 ind	42,667	0,012	1,172	6,586	6,509
45	16 Melhores Famílias – 4 ind	36,571	0,014	1,367	8,723	8,604
46	16 Melhores Famílias – 2 ind	25,600	0,019	1,953	12,555	12,309

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

Suplementar 16. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênies de *Hymenaea courbaril* para o DAP aos 42 meses de idade.

Nº	Cenários	Ne	F	F (%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 5 ind	2,500	0,200	20,000	15,265	12,212
2	2 Melhores Famílias - 5 ind	5,000	0,100	10,000	12,922	11,629
3	2 Melhores Famílias - 3 ind	4,000	0,125	12,500	14,567	12,746
4	2 Melhores Famílias - 2 ind	3,200	0,156	15,625	15,105	12,745
5	3 Melhores Famílias - 5 ind	7,500	0,067	6,667	10,833	10,111
6	3 Melhores Famílias - 3 ind	6,000	0,083	8,333	13,215	12,113
7	3 Melhores Famílias - 2 ind	4,800	0,104	10,417	13,929	12,478
8	4 Melhores Famílias - 5 ind	10,000	0,050	5,000	9,715	9,229
9	4 Melhores Famílias - 3 ind	8,000	0,063	6,250	12,013	11,263
10	4 Melhores Famílias - 2 ind	6,400	0,078	7,813	13,059	12,039
11	5 Melhores Famílias - 5 ind	12,500	0,040	4,000	8,904	8,547
12	5 Melhores Famílias - 3 ind	10,000	0,050	5,000	11,098	10,543
13	5 Melhores Famílias - 2 ind	8,000	0,063	6,250	12,188	11,426
14	6 Melhores Famílias - 5 ind	15,000	0,033	3,333	8,526	8,243
15	6 Melhores Famílias - 3 ind	12,000	0,042	4,167	10,692	10,246
16	6 Melhores Famílias - 2 ind	9,600	0,052	5,208	11,858	11,241
17	7 Melhores Famílias - 5 ind	17,500	0,029	2,857	7,966	7,738
18	7 Melhores Famílias - 3 ind	14,000	0,036	3,571	9,939	9,584
19	7 Melhores Famílias - 2 ind	11,200	0,045	4,464	10,969	10,479
20	8 Melhores Famílias - 5 ind	20,000	0,025	2,500	7,639	7,448
21	8 Melhores Famílias - 3 ind	16,000	0,031	3,125	9,422	9,127
22	8 Melhores Famílias - 2 ind	12,800	0,039	3,906	10,346	9,942
23	9 Melhores Famílias - 5 ind	22,500	0,022	2,222	7,1267	6,968
24	9 Melhores Famílias - 3 ind	18,000	0,028	2,778	8,827	8,582
25	9 Melhores Famílias - 2 ind	14,400	0,035	3,472	9,765	9,426
26	10 Melhores Famílias - 5 ind	25,000	0,020	2,000	6,789	6,653
27	10 Melhores Famílias - 3 ind	20,000	0,025	2,500	8,827	8,606
28	10 Melhores Famílias - 2 ind	16,000	0,031	3,125	9,765	9,460
29	11 Melhores Famílias - 5 ind	27,500	0,018	1,818	6,387	6,271
30	11 Melhores Famílias - 3 ind	22,000	0,023	2,273	8,219	8,032
31	11 Melhores Famílias - 2 ind	17,600	0,028	2,841	9,258	8,995
32	12 Melhores Famílias - 5 ind	30,000	0,017	1,667	5,997	5,897
33	12 Melhores Famílias - 3 ind	24,000	0,021	2,083	7,805	7,643
34	12 Melhores Famílias - 2 ind	19,200	0,026	2,604	8,833	8,603
35	13 Melhores Famílias - 5 ind	32,500	0,015	1,539	5,779	5,691
36	13 Melhores Famílias - 3 ind	31,200	0,016	1,603	7,558	7,437
37	13 Melhores Famílias - 2 ind	20,800	0,024	2,404	8,609	8,402

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

Suplementar 17. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênies de *Lecythis pisonis* para a altura aos 42 meses de idade

Nº	Cenários	Ne	F	F (%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 5 ind	2,500	0,200	20,000	9,467	7,573
2	2 Melhores Famílias - 4 ind	4,571	0,109	10,938	9,482	8,445
3	2 Melhores Famílias - 2 ind	3,200	0,156	15,625	11,155	9,412
4	3 Melhores Famílias - 4 ind	6,857	0,073	7,292	9,076	8,414
5	3 Melhores Famílias - 2 ind	4,800	0,104	10,418	10,523	9,427
6	4 Melhores Famílias - 4 ind	9,143	0,055	5,469	8,538	8,071
7	4 Melhores Famílias - 2 ind	6,400	0,078	7,813	10,092	9,303
8	5 Melhores Famílias - 4 ind	11,429	0,044	4,345	7,889	7,544
9	5 Melhores Famílias - 2 ind	8,000	0,063	6,250	9,577	8,979
10	6 Melhores Famílias - 4 ind	13,714	0,037	3,646	7,476	7,203
11	6 Melhores Famílias - 2 ind	9,600	0,052	5,208	9,142	8,666
12	7 Melhores Famílias - 4 ind	16,000	0,031	3,125	7,284	7,057
13	7 Melhores Famílias - 2 ind	11,200	0,045	4,464	8,966	8,565
14	8 Melhores Famílias - 4 ind	18,286	0,027	2,734	7,179	6,983
15	8 Melhores Famílias - 2 ind	12,800	0,039	3,906	8,810	8,466
16	9 Melhores Famílias - 4 ind	20,571	0,024	2,431	6,643	6,482
17	9 Melhores Famílias - 2 ind	14,400	0,035	3,472	8,322	8,033
18	10 Melhores Famílias - 4 ind	22,857	0,022	2,188	6,362	6,222
19	10 Melhores Famílias - 2 ind	16,000	0,031	3,125	7,986	7,737
20	11 Melhores Famílias - 4 ind	25,143	0,019	1,989	6,082	5,962
21	11 Melhores Famílias - 2 ind	17,600	0,028	2,841	7,708	7,489
22	12 Melhores Famílias - 4 ind	27,429	0,018	1,823	5,776	5,670
23	12 Melhores Famílias - 2 ind	19,200	0,026	2,604	7,402	7,209
24	13 Melhores Famílias - 4 ind	29,714	0,017	1,683	5,658	5,563
25	13 Melhores Famílias - 2 ind	20,800	0,024	2,404	7,085	6,915
26	14 Melhores Famílias - 4 ind	32,000	0,016	1,563	5,542	5,455
27	14 Melhores Famílias - 2 ind	22,400	0,022	2,232	7,146	6,986
28	15 Melhores Famílias - 4 ind	34,286	0,015	1,458	5,443	5,364
29	15 Melhores Famílias - 2 ind	24,000	0,020	2,083	7,035	6,889
30	16 Melhores Famílias - 4 ind	36,571	0,014	1,367	5,321	5,249
31	16 Melhores Famílias - 2 ind	25,600	0,019	1,953	7,035	6,897
32	17 Melhores Famílias - 4 ind	38,857	0,013	1,287	5,087	5,021
33	17 Melhores Famílias - 2 ind	27,200	0,018	1,838	6,756	6,632
34	18 Melhores Famílias - 4 ind	41,143	0,012	1,215	4,952	4,892
35	18 Melhores Famílias - 2 ind	28,800	0,017	1,736	6,677	6,561

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

Suplementar 18. Representação de potenciais cenários após o processo de otimização de seleção de progênie de *Piptadenia gonoacantha* para o volume aos 42 meses de idade

Nº	Cenários	Ne	F	F (%)	GS (%)	GSC (%)
1	Melhor família - 10 ind	3,077	0,163	16,250	48,054	30,034
2	2 Melhores Famílias - 8 ind	5,818	0,086	8,594	44,382	40,567
3	2 Melhores Famílias - 6 ind	5,333	0,094	9,375	50,046	45,354
4	2 Melhores Famílias - 4 ind	4,571	0,109	10,938	58,369	51,985
5	3 Melhores Famílias - 8 ind	8,727	0,057	5,729	34,738	32,748
6	3 Melhores Famílias - 6 ind	8,000	0,063	6,250	40,003	37,502
7	3 Melhores Famílias - 4 ind	6,857	0,073	7,292	47,313	43,863
8	4 Melhores Famílias - 8 ind	11,636	0,043	4,297	31,397	30,048
9	4 Melhores Famílias - 6 ind	10,667	0,047	4,688	36,408	34,702
10	4 Melhores Famílias - 4 ind	9,143	0,055	5,469	43,607	41,222
11	5 Melhores Famílias - 8 ind	13,333	0,038	3,750	28,062	27,009
12	5 Melhores Famílias - 6 ind	13,333	0,038	3,750	32,381	31,167
13	5 Melhores Famílias - 4 ind	11,429	0,044	4,375	38,468	36,785
14	6 Melhores Famílias - 8 ind	17,455	0,029	2,865	25,094	24,375
15	6 Melhores Famílias - 6 ind	16,000	0,031	3,125	29,433	28,513
16	6 Melhores Famílias - 4 ind	13,714	0,037	3,646	35,709	34,408
17	7 Melhores Famílias - 8 ind	20,364	0,025	2,455	23,287	22,715
18	7 Melhores Famílias - 6 ind	18,667	0,027	2,679	27,569	26,831
19	7 Melhores Famílias - 4 ind	16,000	0,031	3,125	33,688	32,635
20	8 Melhores Famílias - 8 ind	23,273	0,022	2,148	21,465	21,003
21	8 Melhores Famílias - 6 ind	21,333	0,023	2,344	25,702	25,099
22	8 Melhores Famílias - 4 ind	18,290	0,027	2,734	31,693	30,826
23	9 Melhores Famílias - 8 ind	26,182	0,019	1,909	19,926	19,545
24	9 Melhores Famílias - 6 ind	24,000	0,021	2,083	24,141	23,638
25	9 Melhores Famílias - 4 ind	20,571	0,024	2,431	30,263	29,527
26	10 Melhores Famílias - 8 ind	29,091	0,017	1,719	18,804	18,481
27	10 Melhores Famílias - 6 ind	26,667	0,019	1,875	22,989	22,558
28	10 Melhores Famílias - 4 ind	22,857	0,022	2,188	29,626	28,978
29	11 Melhores Famílias - 8 ind	32,000	0,016	1,562	17,811	17,533
30	11 Melhores Famílias - 6 ind	29,333	0,017	1,705	22,003	21,628
31	11 Melhores Famílias - 4 ind	29,333	0,017	1,705	28,183	27,702
32	12 Melhores Famílias - 8 ind	34,909	0,014	1,432	16,787	16,547
33	12 Melhores Famílias - 6 ind	32,000	0,046	1,563	21,232	20,899
34	12 Melhores Famílias - 4 ind	27,429	0,018	1,823	26,901	26,411

Cont...

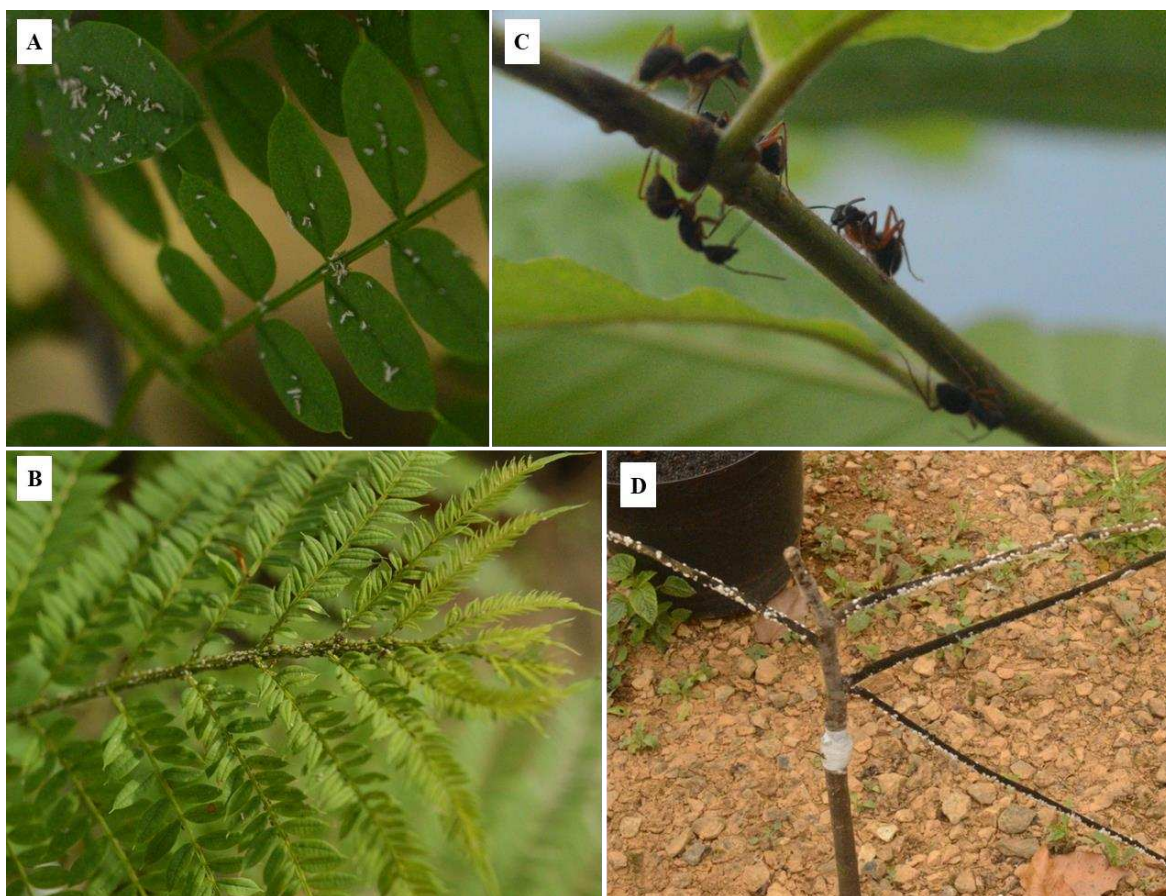
35	13 Melhores Famílias - 8 ind	37,818	0,013	1,322	15,899	15,689
36	13 Melhores Famílias - 6 ind	34,667	0,014	1,442	19,990	19,702
37	13 Melhores Famílias - 4 ind	27,429	0,018	1,823	25,845	25,473
38	14 Melhores Famílias - 8 ind	40,727	0,012	1,228	15,145	14,959
39	14 Melhores Famílias - 6 ind	37,333	0,013	1,339	19,187	18,951
40	14 Melhores Famílias - 4 ind	37,333	0,013	1,339	25,005	24,698

Ne: Tamanho efetivo populacional; F: Coeficiente de endogamia; F(%): Coeficiente de endogamia em porcentagem; GS: ganho de seleção; GSC: ganho de seleção corrigido.

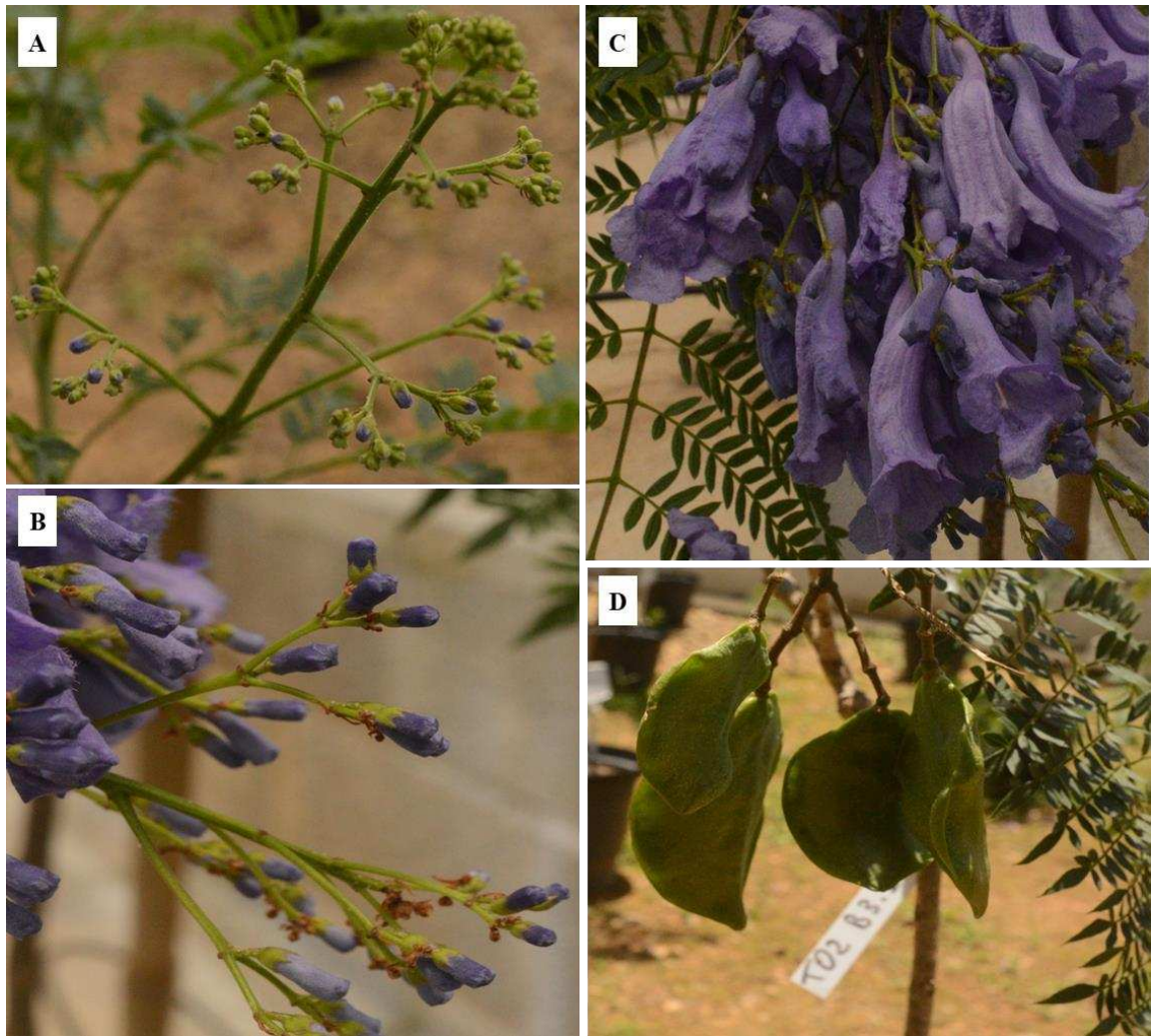


Suplementar 19. Medição da altura de aparecimento da primeira bifurcação (A e B); *Platymania reticulata* com bifurcação próxima ao solo; desenvolvimento de *Anadenanthera peregrina* aos 42 meses de idade (C) e; genótipo de *Platymania reticulata* com frutos (D). Fonte: autor

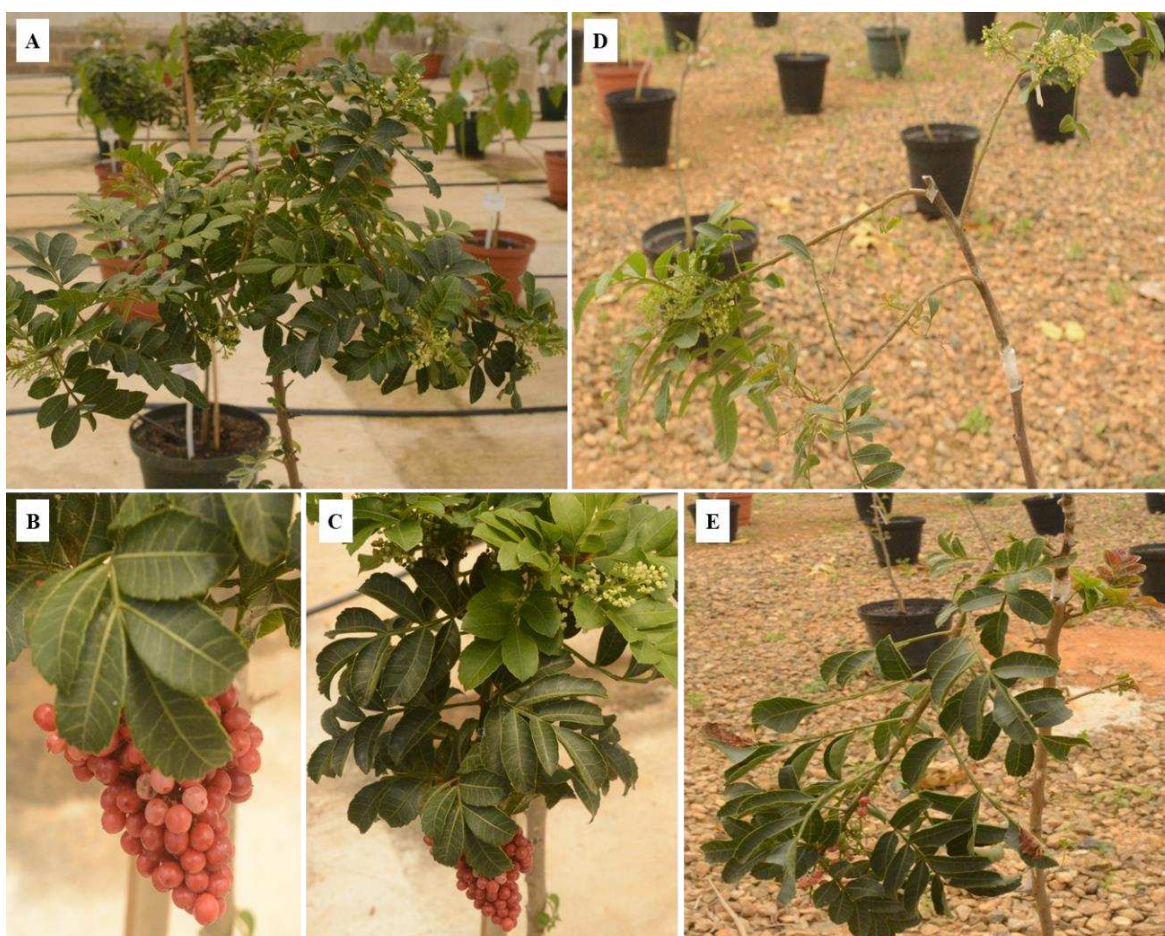
APÊNDICE – Capítulo 3



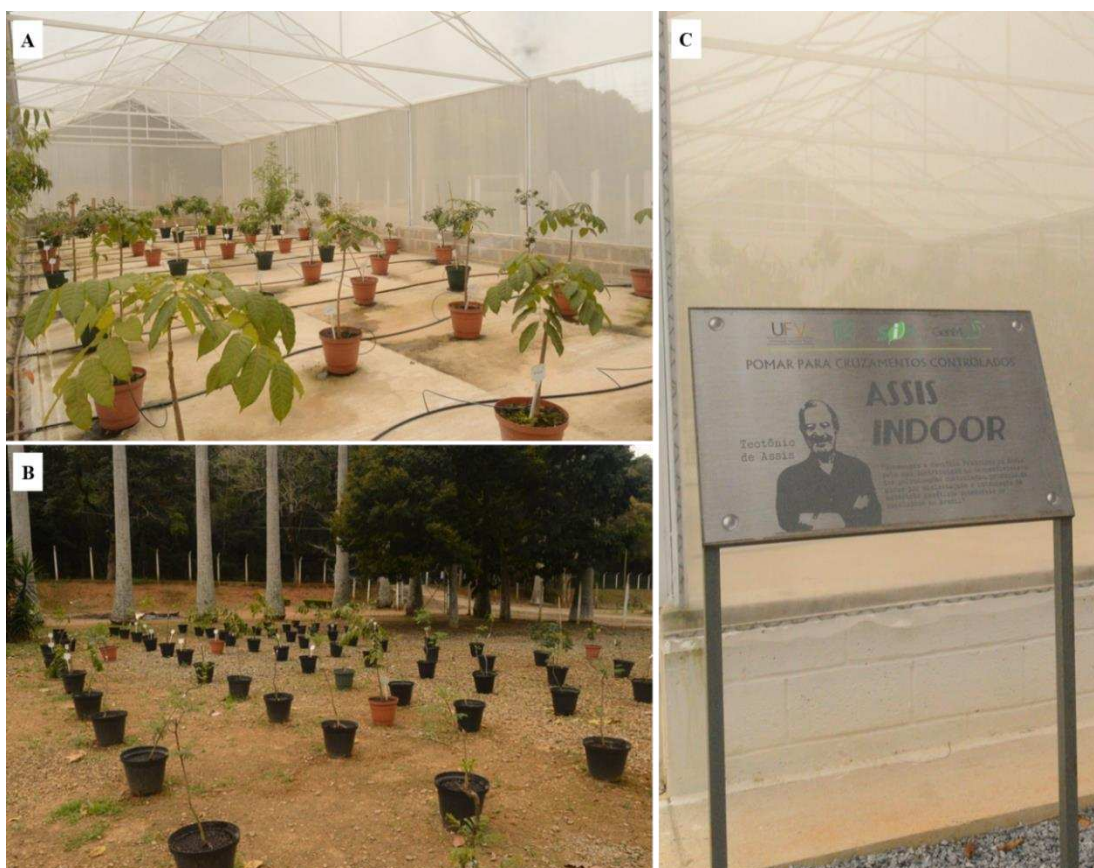
Suplementar 20. Pragas visualizadas em plantas enxertadas cultivadas indoor e outdoor. Pulgões em mudas de *Jacaranda mimosifolia* indoor (A); e outdoor (B); formigas em mudas enxertadas de *Handroanthus heptaphyllus* mantidas indoor (C); e fumagina observadas em brotações outdoor (D). Fonte: autor



Suplementar 21. Floração após aplicação de regulador de crescimento (paclobutrazol) em mudas enxertadas de *Jacaranda mimosifolia*. Formação de flores de *Jacaranda mimosifolia* (A); desenvolvimento de flores (B), inflorescência formada (C); e frutos imaturos (D). Fonte: autor



Suplementar 22. Floração após aplicação de regulador de crescimento (paclobutrazol) em mudas enxertadas de *Shinus terebinthifolius*. Enxertos de *Shinus terebinthifolius* com inflorescências (A); frutos (B); e flores e frutos (C) cultivados indoor; e floração (D); Enxertos de *Shinus terebinthifolius* cultivados outdoors em fase de floração (D); e frutificação (E). Fonte: autor



Suplementar 23. Pomar de cruzamentos em vasos indoor (A e C); e outdoor (B) de seis espécies florestais nativas da Mata Atlântica. Fonte: autor